

DOMESTIC PRIORITY INFORMATION

Application:: Continuity Type:: Parent Application:: Parent Filing Date::

FOREIGN APPLICATION INFORMATION

Country::	Application Number::	Filing Date::	Priority Claimed
Japan	2001-251434	08/22/01	Yes

ASSIGNEE INFORMATION

Assignee name:: Mitsubishi Denki Kabushiki Kaisha
Street of mailing address:: 2-3, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku

City of mailing address:: Tokyo

State or Province of
mailing address::

Country of mailing
address:: Japan

Postal or Zip Code of
mailing address:: 100-8310

#2
B. B. L. +
5/7/02
日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

1c879 U.S. PRO
10/082191
02/26/02

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出願年月日
Date of Application:

2001年 8月22日

出願番号
Application Number:

特願2001-251434

出願人
Applicant(s):

三菱電機株式会社

2001年 9月 6日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

及川耕造

出証番号 出証特2001-3082519

【書類名】 特許願
【整理番号】 533337JP01
【提出日】 平成13年 8月22日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G01P 5/00
【発明者】
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会
 社内
 【氏名】 有吉 雄二
【特許出願人】
 【識別番号】 000006013
 【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
 【氏名又は名称】 三菱電機株式会社
【代理人】
 【識別番号】 100062144
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 青山 葆
【選任した代理人】
 【識別番号】 100086405
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 河宮 治
【選任した代理人】
 【識別番号】 100098280
 【弁理士】
 【氏名又は名称】 石野 正弘
【手数料の表示】
 【予納台帳番号】 013262
 【納付金額】 21,000円

特 2 0 0 1 - 2 5 1 4 3 4

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 流量測定装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 流体中に配置され、熱を発する発熱体の上流側の放熱量と、下流側の放熱量との差から、流体の流量を測定する流量測定装置において、該発熱体の上流側に設けられて温度を検出する上流温度検出体と、該発熱体の下流側に設けられて温度を検出する下流温度検出体と、前記上流温度検出体が発出した温度、および、前記下流温度検出体が発出した温度の平均温度が、予め設定された温度になるように、前記発熱体に供給する電力を制御する回路と

を備えた、流量測定装置。

【請求項 2】 前記上流温度検出体が発出した温度、および、前記下流温度検出体が発出した温度の温度差に基づいて、流体の流量を測定する、請求項 1 に記載の流量測定装置。

【請求項 3】 前記発熱体、および、前記上流温度検出体の間に設けられ、前記回路から供給された電力に基づいて熱を発する上流発熱体と、前記発熱体、および、前記下流温度検出体の間に設けられ、前記回路から供給された電力に基づいて熱を発する下流発熱体と

をさらに備え、

前記回路は、前記上流温度検出体が発出した温度、および、前記下流温度検出体が発出した温度が等しくなるように、前記上流発熱体および前記下流発熱体に供給する電力を制御し、該電力の差に基づいて、流体の流量を測定する、請求項 1 に記載の流量測定装置。

【請求項 4】 前記回路は、流体の温度に基づいて、前記予め設定された温度を変化させる、請求項 1 ～ 3 に記載の流量測定装置。

【請求項 5】 前記回路は、流体の流量に基づいて、前記予め設定された温度を変化させる、請求項 1 ～ 3 に記載の流量測定装置。

【請求項 6】 流体中に配置され、熱を発する発熱体の上流側の放熱量と、下流側の放熱量との差から、流体の流量を測定する流量測定装置において、

流体の上流側から下流側にかけて、各々が、熱を発する発熱体および温度を検出する温度検出体の機能を有する第 1、第 2、第 3、第 4、第 5、第 6 の感温抵抗体と、感温抵抗体を発熱させる電力の供給を制御する回路を備えた、流体の流量を測定する流量測定装置であって、

回路は、第 2、第 5 の感温抵抗体の発熱温度が等しくなるように、第 3、第 4 の感温抵抗体に供給する電力を制御し、さらに、第 1、第 6 の感温抵抗体の発熱温度が等しくなるように、第 2、第 5 の感温抵抗体に供給する電力を制御し、第 3、第 4 の感温抵抗体に供給される電力の差と、第 2、第 5 の感温抵抗体に供給される電力の差とに基づいて、流体の流量を測定する流量測定装置。

【請求項 7】 前記第 3 と第 4 の発熱体の間に、発熱抵抗体をさらに備え、回路は、前記第 1 の発熱体と第 6 の発熱体の平均温度が予め設定された温度になるように、前記発熱抵抗体に供給する電力を制御する、請求項 7 に記載の流量測定装置。

【請求項 8】 前記回路は、流体の温度に基づいて、前記予め設定された温度を変化させる、請求項 6 または 7 に記載の流量測定装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、流体の流量の測定に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

流体の流量を測定する方式は、大きく 2 種類に分けることができる。すなわち、加熱電流検出方式と、温度差検出方式である。

【0 0 0 3】

加熱電流検出方式は、流体中に設けられたヒーターを、流体温度に対して一定温度だけ高く保つのに必要な加熱電流を検出して、流体の流量を測定する。一方の温度差検出方式は、発熱抵抗体の温度を一定に保ち、その上流側に形成された上流側温度検出抵抗体と、下流側に形成された下流側温度検出抵抗体との温度差を検出して、流体の流量を測定する。温度差検出方式を採用する流体流量測定装

置は例えば特公平 5 - 7 6 5 9 に示されている。

【 0 0 0 4 】

【発明が解決しようとする課題】

上述した従来の 2 つの方式には、それぞれ以下のような欠点が存在する。

【 0 0 0 5 】

具体的には、加熱電流検出方式を採用する流体流量測定装置では、小型化に適さず、かつ、小さな流量域の流量を測定することが困難である。

【 0 0 0 6 】

温度差検出方式を採用する流体流量測定装置では、小型化、および、小さい流量域の流量の測定が可能であるが、流体流量が大きくなると上流側温度検出抵抗体の温度がそれ以上低下しなくなり、また、下流側温度検出抵抗体の温度も低下を始める。よって大流量域で感度が低下し、ダイナミックレンジを大きく取れない。また、流量変化により温度検出抵抗体の温度が変化するため、応答性が悪い。

【 0 0 0 7 】

本発明の目的は、小型化が可能で、感度および応答性が高く、かつ、ダイナミックレンジが広い流体流量測定方式を提供することである。

【 0 0 0 8 】

【課題を解決するための手段】

本発明による流量測定装置は、流体中に配置され、熱を発する発熱体の上流側の放熱量と、下流側の放熱量との差から、流体の流量を測定する流量測定装置であって、該発熱体の上流側に設けられて温度を検出する上流温度検出体と、該発熱体の下流側に設けられて温度を検出する下流温度検出体と、前記上流温度検出体が発出した温度、および、前記下流温度検出体が発出した温度の平均温度が、予め設定された温度になるように、前記発熱体に供給する電力を制御する回路とを備えている。これにより上記目的が達成される。

【 0 0 0 9 】

前記上流温度検出体が発出した温度、および、前記下流温度検出体が発出した温度の温度差に基づいて、流体の流量を測定してもよい。

【 0 0 1 0 】

前記発熱体、および、前記上流温度検出体の間に設けられ、前記回路から供給された電力に基づいて熱を発する上流発熱体と、前記発熱体、および、前記下流温度検出体の間に設けられ、前記回路から供給された電力に基づいて熱を発する下流発熱体とをさらに備え、前記回路は、前記上流温度検出体が発出した温度、および、前記下流温度検出体が発出した温度が等しくなるように、前記上流発熱体および前記下流発熱体に供給する電力を制御し、該電力の差に基づいて、流体の流量を測定してもよい。

【 0 0 1 1 】

前記回路は、流体の温度に基づいて、前記予め設定された温度を変化させてもよい。

【 0 0 1 2 】

前記回路は、流体の流量に基づいて、前記予め設定された温度を変化させてもよい。

【 0 0 1 3 】

本発明による流量測定装置は、流体中に配置され、熱を発する発熱体の上流側の放熱量と、下流側の放熱量との差から、流体の流量を測定し、流体の上流側から下流側にかけて、各々が、熱を発する発熱体および温度を検出する温度検出体の機能を有する第1、第2、第3、第4、第5、第6の感温抵抗体と、感温抵抗体を発熱させる電力の供給を制御する回路を備えた、流体の流量を測定する流量測定装置であって、回路は、第2、第5の感温抵抗体の発熱温度が等しくなるように、第3、第4の感温抵抗体に供給する電力を制御し、さらに、第1、第6の感温抵抗体の発熱温度が等しくなるように、第2、第5の感温抵抗体に供給する電力を制御し、第3、第4の感温抵抗体に供給される電力の差と、第2、第5の感温抵抗体に供給される電力の差とに基づいて、流体の流量を測定する。これにより上記目的が達成される。

【 0 0 1 4 】

前記第3と第4の発熱体の間に、発熱抵抗体をさらに備え、回路は、前記第1の発熱体と第6の発熱体の平均温度が予め設定された温度になるように、前記発

熱抵抗体に供給する電力を制御してもよい。

【0015】

前記回路は、流体の温度に基づいて、前記予め設定された温度を変化させてもよい。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、添付の図面を参照して、本発明の実施の形態を説明する。図面では、同一の機能を有する構成要素には同一の参照符号を付している。

【0017】

（実施の形態1）

図1は、実施の形態1の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。流体流量測定装置は、シリコン基板1上に形成された薄肉部3に、白金等の感温材料により形成された発熱抵抗体4、温度センサとしての上流側温度検出抵抗体5、および下流側温度検出抵抗体6を備えている。それぞれの抵抗体4、5、6には配線部9が接続され、配線部9の一端にはパッド部10が接続されている。パッド部10は外部回路との接続のため、ワイヤボンディング等を使用される。図2は、図1のA-A'における薄肉部3の断面図である。薄肉部3は、絶縁層7、8とその間に形成された抵抗体4、5、6から形成されている。薄肉部3の裏面側のシリコンはエッチングにより除去され、空洞部2が形成されている。

【0018】

この流体流量測定装置が流体（例えば、空気）の流速を検出する際の動作原理は以下のとおりである。まず、発熱抵抗体4が、シリコン基板1の温度よりも高い温度（例えば、200℃）になるように加熱される。このシリコン基板1の温度は、流れている空気の温度とほぼ同じであると仮定できる。空気の流れがない場合には、発熱抵抗体4からの熱は、上流側温度検出抵抗体5、および、下流側温度検出抵抗体6の双方を均等に加熱する。図に示すように、上流側温度検出抵抗体5、および、下流側温度検出抵抗体6は、発熱抵抗体4に対して対称に配置されるからである。このとき、上流側温度検出抵抗体5、および、下流側温度検出抵抗体6の温度差はなくなり、抵抗差は生じない。一方、空気の流れがある場

合、仮に、図 2 の「FLOW」と示す矢印の方向に空気の流れがある場合を考える。このとき、上流に位置する上流側温度検出抵抗体 5 は、発熱抵抗体 4 方向への空気の流れにより熱が奪われるので冷却され、下流に位置する下流側温度検出抵抗体 6 は、発熱抵抗体 4 からの空気の流れにより熱せられる。この温度差により生じる、上流側温度検出抵抗体 5、および、下流側温度検出抵抗体 6 の抵抗値の差が電圧値の差をもたらし、空気の流量、流速が計測される。

【0019】

図 3 は、実施の形態 1 による、抵抗体 4、5、6 を含む、流体流量測定装置の回路図である。上流側温度検出抵抗体 5 (Rsu) と下流側温度検出抵抗体 6 (Rsd) には定電流源 13 が接続され、定電流 Is が供給される。抵抗体 Rsu 5 と抵抗体 Rsd 6 の両端電圧 (Vsu, Vsd) は加算回路 15 に入力される。加算回路 15 のゲインを G とすると、加算回路の出力電圧 Vadd は下記数 1 で表される。

【数 1】

$$V_{add} = V_e - G(V_{su} + V_{sd})$$

【0020】

固定抵抗 R1 と R2 により定電圧 12 (Vc) を分圧した電圧 19 (Vt) と、加算回路 15 の出力電圧 Vadd とが比較され、パワートランジスタ 20 により、両者が等しくなるように発熱抵抗体 4 に電力が供給される。ここで定電圧 Vc を分圧した電圧 Vt は下記数 2 で表される。

【数 2】

$$V_t = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_c$$

【0021】

よって、Vt = Vadd とすると、数 1 および数 2 から、下記数 3 が得られる。

【数 3】

$$G(V_{su} + V_{sd}) = V_e - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_c$$

【0022】

上流温度検出抵抗体 5 と下流温度検出抵抗体 6 の 0℃ の時の抵抗値を Rs0、抵

抗温度係数を α_s 、温度をそれぞれ T_{su} 、 T_{sd} とすると、 $R_{s0}5$ と $R_{sd}6$ の両端電圧 V_{su} 、 V_{sd} は、それぞれ下記数 4 および数 5 のように得られ、その結果、下記数 6 が得られる。

【数 4】

$$V_{su} = R_{s0} I_s = R_{s0} (1 + \alpha_s T_{su}) I_s$$

【数 5】

$$V_{sd} = R_{sd} I_s = R_{s0} (1 + \alpha_s T_{sd}) I_s$$

【数 6】

$$\begin{aligned} G(V_{su} + V_{sd}) &= G \{ (2R_{s0} + \alpha_s (T_{su} + T_{sd})) \} I_s \\ &= 2GR_{s0} I_s + G\alpha_s (T_{su} + T_{sd}) I_s \end{aligned}$$

【0 0 2 3】

上述の数 3 および数 6 から、下記数 7 が得られる。

【数 7】

$$\frac{1}{2} (T_{su} + T_{sd}) = \left[V_e - \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_c - 2GR_{s0} I_s \right] / 2G\alpha_s I_s$$

【0 0 2 4】

数 7 の右辺の各項は全て定数であるから、右辺は定数である。よって、図 3 に示す回路を構成することにより、上流側温度検出抵抗体 5 の温度 (T_{su}) と下流側温度検出抵抗体の温度 (T_{sd}) の平均値を一定に保つことができる。

【0 0 2 5】

さらに図 3 を参照して、上流温度検出抵抗体 5 および下流温度検出抵抗体 6 には差動増幅器 17 が接続されている。差動増幅器 17 は、 $R_{s0}5$ と $R_{sd}6$ の両端電圧 V_{su} 、 V_{sd} の電位差を、出力電圧 V_{out} として端子 16 から出力する。具体的には、出力電圧 V_{out} は、下記数 8 に示すように

【数 8】

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{sd} - V_{su} \\ &= R_{s0} \alpha_s (T_{sd} - T_{su}) I_s \end{aligned}$$

となる。数 8 から明らかなように、出力電圧 V_{out} は、上流温度検出抵抗体 5 の温度 (T_{su}) と下流温度検出抵抗体 6 の温度 (T_{sd}) の差に比例することが理解され

る。

【0026】

出力電圧 V_{out} から、流量を得るためには、一般に、流量－出力電圧のテーブルを予め作成しておき、このテーブルを参照すればよい。テーブルは、流体流量測定装置が有するメモリ（図示せず）に格納される。テーブルを参照する動作は流体流量測定装置の中央演算装置（図示せず）が行う。なお、テーブルを用いることなく、出力電圧 V_{out} を変数として、流量が出力値として与えられる換算式を用いてもよい。

【0027】

図4は、流体の流量に応じた、上流温度検出抵抗体5と下流温度検出抵抗体6の温度変化のグラフである。この図は、熱回路網法によりシミュレーションを行った結果に基づいて作成されている。曲線21、および曲線22は、それぞれ、本実施の形態による上流温度検出抵抗体5の温度、および、下流温度検出抵抗体6の温度を示す。一方、曲線23、24は、それぞれ、従来例における上流温度検出抵抗体5の温度と下流温度検出抵抗体6の温度を示す。従来例では上流温度検出抵抗体5の温度、および、下流温度検出抵抗体6の温度は、流量が大きくなると低下し、その平均温度も流量とともに低下する。数7に関連して説明したように、本実施の形態では、上流側温度検出抵抗体5の温度と下流側温度検出抵抗体6の平均温度を一定に保つよう制御している。したがって、上流側温度検出抵抗体5の温度（曲線21）が流量とともに低下すると、下流側温度検出抵抗体6の温度（曲線22）は流量とともに上昇する。

【0028】

本実施の形態における上流側温度検出抵抗体5の流量による温度低下（曲線21）は、従来例における上流側温度検出抵抗体5の流量による温度低下（曲線23）よりも小さい。このため流量がある程度大きくなった場合には、本発明における上流側温度検出抵抗体5の温度は、従来例における上流側温度検出抵抗体5の温度よりも高くなる。測定可能温度の観点から説明すると、例えば、測定可能温度の下限が65℃と仮定したとき、従来は曲線23で示すように約60 g/sの流量までしか測定できなかった。しかし実施の形態1によれば、約200 g/s

s まで測定可能である。よって実施の形態 1 における上流側温度検出抵抗体 5 の温度は、従来例に比べ、より大流量まで変化が許容される。

【 0 0 2 9 】

図 5 は、上流温度検出抵抗体 5 の温度と下流温度検出抵抗体 6 の温度の差の流量依存性を示すグラフである。図中、曲線 2 5 は実施の形態 1 における上流温度検出抵抗体 5 と下流温度検出抵抗体 6 の温度差を示す。一方、曲線 2 6 は従来例における上流温度検出抵抗体 5 と下流温度検出抵抗体 6 の温度差を示す。上述のように、実施の形態 1 における上流側温度検出抵抗体 5 の温度は、より大流量まで変化が可能であり、また、本発明の下流側温度検出抵抗体 6 の温度は流量とともに増大する。したがって、その温度差は従来に比べて大きくなり、より大流量まで大きな流量依存性を示す。

【 0 0 3 0 】

実施の形態 1 で説明した上述の構成によれば、上流温度検出抵抗体 5 と下流温度検出抵抗体 6 の温度差は従来例に比べより大流量まで大きく変化する。よって、特に大流量において感度が向上し、ダイナミックレンジが拡大できる。また、上流側と下流側の温度検出体 5、6 の温度をフィードバック制御することになるので、オープンループだった従来に比べ応答性が改善する。

【 0 0 3 1 】

(実施の形態 2)

実施の形態 1 では、上流温度検出抵抗体 5 と下流温度検出抵抗体 6 の平均温度を出すために図 3 に示す加算回路 1 5 を用いた。実施の形態 2 では、異なる回路を用いて、実施の形態 1 と同じ結果を得ることができる構成を説明する。

【 0 0 3 2 】

図 6 は、実施の形態 2 による、抵抗体 4、5、6 を含む、流体流量測定装置の回路図である。図 6 に示すように、上流温度検出抵抗体 5 の一方の端部は下流温度検出抵抗体 6 と直列に接続されており、他方の端部は、定電流 I_s を供給する定電流源 1 3 に接続されている。このとき上流温度検出抵抗体 5 と下流温度検出抵抗体 6 が直列接続された高電位側の電圧 2 7 (V_s) は、下記数 9 のように、

【数 9】

$$\begin{aligned}
 V_s &= (R_{su} + R_{sd})I_s \\
 &= 2R_{s0}I_s + R_{s0}\alpha_s(T_{su} + T_{sd})I_s
 \end{aligned}$$

となり、実施の形態 1 の V_{add} と同様に $(T_{su} + T_{sd})$ に依存した電圧が得られる。

【0 0 3 3】

差動増幅器 17 は、上流側温度検出抵抗体 5 の両端電圧と下流側温度検出抵抗体 6 の両端電圧との差電圧を出力する。

【0 0 3 4】

このような構成によっても、上流温度検出抵抗体 5 と下流温度検出抵抗体 6 の温度差は従来例に比べより大流量まで大きく変化するので、特に大流量において感度が向上し、ダイナミックレンジが拡大できる。

【0 0 3 5】

実施の形態 1、2 の回路構成では、上流温度検出抵抗体 5 と下流温度検出抵抗体 6 に定電流を供給する定電流源 13 を用いた。しかし、定電圧を印加する定電圧源を用いても同様の結果が得られる。また、上流側と下流側の温度検出体 5、6 の温度をフィードバック制御することになるので、オープンループだった従来に比べ応答性が改善する。

【0 0 3 6】

(実施の形態 3)

図 7 は、実施の形態 3 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。流体流量測定装置は、シリコン基板 1 上に形成された薄肉部 3 に、中央発熱抵抗体 4、上流側温度検出抵抗体 5、下流側温度検出抵抗体 6、および、上流側発熱抵抗体 28、下流側発熱抵抗体 29 を備えている。上流側発熱抵抗体 28 は、中央発熱抵抗体 4 と上流側温度検出抵抗体 5 の間（近傍）に、下流側発熱抵抗体 29 は、中央発熱抵抗体 4 と下流側温度検出抵抗体 6 の間（近傍）に配置されている。その他の構成は図 1 および図 2 と同様である。

【0 0 3 7】

実施の形態 3 では、中央発熱抵抗体 4、上流側温度検出抵抗体 5、下流側温度

検出抵抗体 6 を用いて図 3 と同様の回路を構成し、上流側温度検出抵抗体 5 と下流側温度検出抵抗体 6 の平均温度を一定に保つように中央発熱抵抗体 4 に供給する電力を制御する。

【 0 0 3 8 】

図 8 は、実施の形態 3 による、抵抗体 5、6、28、29 を含む流体流量測定装置の回路図である。上流側温度検出抵抗体 5 (R_{su}) と下流側温度検出抵抗体 6 (R_{sd}) には定電流を供給する定電流源 13 が接続されている。図 8 に示すように、上流側温度検出抵抗体 5 の両端電圧 (V_{su}) と下流側温度検出抵抗体 6 の両端電圧 (V_{sd}) とは、それぞれコンパレータ 30 の - 入力端子と + 入力端子とに入力される。コンパレータ 30 の出力は、上流側温度検出抵抗体 5 の温度が下流側温度検出抵抗体 6 の温度より低い場合 (すなわち $V_{su} < V_{sd}$ の場合) にはハイレベルとなり、逆の場合 (すなわち $V_{su} > V_{sd}$ の場合) にはローレベルとなる。コンパレータ 30 の出力はスイッチ 31、32 に接続される。スイッチ 31 は上流側発熱抵抗体 28 と電源 11 との接続を制御し、スイッチ 32 は下流側発熱抵抗体 29 と電源 11 との接続を制御する。

【 0 0 3 9 】

次に図 8 の回路の動作を説明する。上流側から流体の流れが生じた場合、上流側温度検出抵抗体 5 の温度は下流側温度検出抵抗体 6 の温度より低くなり、それぞれの両端電圧の関係は $V_{su} < V_{sd}$ となる。このときコンパレータ 30 の出力はハイレベルになるので、スイッチ 31 がオンされ、スイッチ 32 がオフされる。そして上流側発熱抵抗体 28 が電源 11 に接続される。上流側発熱抵抗体 28 に電流が流れるとジュール熱により発熱し、近傍にある上流側温度検出抵抗体 5 の温度を上昇させる。上流側温度検出抵抗体 5 の温度が上昇して、下流側温度検出抵抗体 6 の温度より高くなると、それぞれの両端電圧の関係は $V_{su} > V_{sd}$ となる。このときコンパレータ 30 の出力はローレベルとなり、スイッチ 31 はオフされ、スイッチ 32 はオンされて、下流側発熱抵抗体 29 と電源 11 とが接続される。下流側発熱抵抗体 29 に電流が流れるとジュール熱により発熱し、近傍にある下流側温度検出抵抗体 6 の温度を上昇させる。下流側温度検出抵抗体 6 の温度が上昇して、上流側温度検出抵抗体 5 の温度より高くなると、それぞれの両端電圧

の関係は $V_{su} < V_{sd}$ となり、初期の状態に戻る。このようにスイッチ 3 1、3 2 の働きにより、電源 1 1 を上流側発熱抵抗体 2 8 と下流側発熱抵抗体 2 9 に交互に切り換える動作が繰り返され、上流側温度検出抵抗体 5 の温度と下流側温度検出抵抗体 6 の温度が等しくなるように制御される。

【 0 0 4 0 】

図 9 は、抵抗体 2 8 (図 8) および抵抗体 2 9 (図 8) の端子電圧と、出力端子 1 6 (図 8) の電圧との関係を示す図である。図中、パルス 3 6 は、上流側発熱抵抗体 2 8 (図 8) の+側端子 3 4 の電圧を示す。パルス 3 7 は下流側発熱抵抗体 2 9 (図 8) の+側端子 3 5 の電圧を示す。パルス 3 8 は出力端子 1 6 (図 8) の電圧を示す。上流側から流体が流れている場合、上流側温度検出抵抗体 5 (図 8) の温度と、下流側温度検出抵抗体 6 (図 8) の温度とを等しくするためには、上流側発熱抵抗体 2 8 (図 8) により多くの電力を供給しなければならない。したがって、スイッチ 3 1 (図 8) が閉じている時間 t_1 の方がスイッチ 3 2 (図 8) が閉じている時間 t_2 より長くなる。この差 (または比) は流体の流量が大きいほど大きくなる。逆流の場合は大小関係が逆になる。図 1 0 は、出力電圧 3 8 からアナログ電圧を得る際の処理を示す図である。図 1 0 に示すように、出力電圧 3 8 をローパスフィルタ 4 1 に通すことにより、アナログ電圧出力 4 2) が得られる。電圧 4 2 は出力電圧 3 8 のデューティ比 $[t_1/(t_1+t_2)]$ に応じた値となる。よって電圧 4 2 を測定することにより、流体の流量を知ることができる。

【 0 0 4 1 】

図 1 1 は、実施の形態 3 の構成による流量とデューティ比との関係を示すグラフ 3 9 である。デューティ比は、流量 0 の時は 5 0 % で、流量の増大とともに増大する。デューティ比が 1 0 0 % になる流量は、上下流発熱抵抗体と上下流温度検出抵抗体の位置関係や電源電圧によって調整できる。図 1 0 に示す出力回路を用いた場合、図 1 1 と同様の出力カーブが得られる。

【 0 0 4 2 】

図 3 に示す回路により、上流側温度検出抵抗体 5 (図 3) と下流側温度検出抵抗体 6 (図 3) の平均温度を一定に保ち、しかも図 8 に示す回路により両者の温度を等しく制御することにより、抵抗体 5、6 の温度は全流量範囲において一定

に保たれることになる。

【 0 0 4 3 】

以上のように、実施の形態 3 では上流側温度検出抵抗体 5 と下流側温度検出抵抗体 6 の温度が流量によらず一定に保たれるので、ダイナミックレンジが拡大する。また、流量変化による温度変化が生じないので応答性が向上する。さらに、抵抗体の温度を 1 0 0℃ 以上に保つことができるので、水滴などが付着した場合に即座に蒸発させることができ、水分付着による特性のドリフトを低減することができる。

【 0 0 4 4 】

（実施の形態 4）

図 1 2 は、図 1 0 で説明した出力電圧 V_{out} をデジタル出力するための処理を示す図である。出力電圧 3 8 と高周波パルス信号 4 3 とを乗算器 4 4 によって乗算すると、出力電圧 3 8 がハイレベルにあるときだけ（図 9 の t_1 の間だけ）高周波パルス 4 5 が残る。この高周波パルス 4 5 のパルス数を、一定時間、パルスカウンタ 4 6 で計数することにより、デジタル出力 4 7 が得られる。

【 0 0 4 5 】

このような構成により出力電圧をデジタル化することにより、実施の形態 3 と同様の効果が得られる上に、コンピュータを利用する際の、中央処理装置（以下、「CPU」という）との結合性が良くなる。

【 0 0 4 6 】

（実施の形態 5）

実施の形態 3 では、デューティ比 $[t_1/(t_1+t_2)]$ を出力として採用したが、デューティ比差 $[(t_1-t_2)/(t_1+t_2)]$ を出力とすることもできる。図 1 3 は、デューティ比差を出力するための処理を示す図である。まず上流側発熱抵抗体 2 8（図 8）の+側の端子 3 4 の電圧 4 8（ V_{hu} ）と、下流側発熱抵抗体 2 9（図 8）の+側の端子 3 5 の電圧 4 9（ V_{hd} ）とを、それぞれローパスフィルタ 4 1 に通すことにより、アナログ電圧を得る。得られたアナログ電圧を減算回路 5 0 で減算処理することにより、デューティ比差 $[(t_1-t_2)/(t_1+t_2)]$ に応じたアナログ電圧 5 1 が得られる。図 1 4 は、実施の形態 5 の構成による流量とデューティ比差との

関係を示すグラフ 4 0 である。実施の形態 5 のデューティ比差 $[(t_1-t_2)/(t_1+t_2)]$ は、図 1 4 の曲線 4 0 で示す流量依存性を有するので、図 1 3 の出力処理で得られる出力電圧 5 1 も曲線 4 0 と同様の流量依存性を有する。

【 0 0 4 7 】

このような構成によっても実施の形態 3 と同様の効果が得られるとともに、オフセット出力（流量 0 での出力）が 0 にできるので感度がさらに向上する。

【 0 0 4 8 】

（実施の形態 6）

図 1 5 は、上流側発熱抵抗体 2 8（図 8）の+側の端子 3 4 の電圧 4 8（ V_{hu} ）と、下流側発熱抵抗体 2 9（図 8）の+側の端子 3 5 の電圧 4 9（ V_{hd} ）とを、デジタル出力するための処理を示す図である。乗算器 4 4 において、電圧 4 8 と 4 9 のそれぞれに高周波パルス信号 4 3 を乗算すると、電圧波形 4 8、4 9 がハイレベルにあるときだけ高周波パルス 5 3、5 4 が残る。このパルス 5 3、5 4 のパルス数を、一定時間、パルスカウンタ 4 6 で計数し、減算器 5 0 で減算処理することによりデジタル出力 4 7 が得られる。

【 0 0 4 9 】

このような構成にすることにより、実施の形態 5 と同様の効果が得られる上に、CPU との結合性が良くなる。

【 0 0 5 0 】

実施の形態 3、4、5、6 の回路構成では、上流温度検出抵抗体 5 および下流温度検出抵抗体 6 には、定電流を供給する定電流源 1 3 を用いた。しかし、定電圧を印加する定電圧源を用いても同様の結果が得られる。

【 0 0 5 1 】

（実施の形態 7）

図 1 6 は、実施の形態 7 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。実施の形態 7 の流体流量測定装置では、シリコンチップ 1 上に流体の温度を検出する流体温度検出抵抗体 5 5 が形成されている。流体温度検出抵抗体 5 5 は、発熱抵抗体 4 から熱的な影響を受けないように薄肉部 3 から離れた位置に形成される。流体温度検出抵抗体 5 5 の裏面のシリコンをエッチングにより除去し、流体

温度検出抵抗体 5 5 を第 2 の薄肉部上に形成してもよい。

【 0 0 5 2 】

図 1 7 は、実施の形態 7 による、流体温度検出抵抗体 5 5 を含む、流体流量測定装置の回路図である。この回路において、電圧 1 9 (Vt) は数 1 0 で表される。

【数 1 0】

$$V_t = \frac{R_2}{R_a + R_1 + R_2} V_c$$

【 0 0 5 3 】

数 1 の Vadd と、数 1 0 の Vt とが等しくなるように制御すると、下記数 1 1 が成り立つ。

【数 1 1】

$$G(V_{su} + V_{sd}) = V_e - \frac{R_2}{R_a + R_1 + R_2} V_c$$

【 0 0 5 4 】

流体温度検出抵抗体 5 5 の 0℃ の時の抵抗値を Ra0、抵抗温度係数を αa とすると、流体温度（および抵抗体 5 5）の温度が Ta のとき、

【数 1 2】

$$R_a = R_{a0}(1 + \alpha_a T_a)$$

数 1 1、および数 6 から

【数 1 3】

$$\frac{1}{2}(T_{su} + T_{sd}) = \left[V_e - \frac{R_2}{R_{a0}(1 + \alpha_a T_a) + R_1 + R_2} V_c - 2GR_{s0}I_s \right] / 2G\alpha_s I_s$$

が成り立つ。数 1 3 の右辺に流体温度検出抵抗体 5 5 の温度 Ta が含まれているため、右辺全体は Ta に依存した値となる。よって、上流側温度検出抵抗体 5 の温度 (Tsu) と下流側温度検出抵抗体 6 の温度 (Tsd) の平均値も流体温度 Ta に依存した値となり、流体温度 Ta が高いときは上流側温度検出抵抗体 5 と下流側温度検出抵抗体 6 の平均温度も高く、流体温度 Ta が低いときは上流側温度検出抵抗体 5 と下流側温度検出抵抗体 6 の平均温度も低くなる。流体温度 Ta と、

上流側温度検出抵抗体 5 および下流側温度検出抵抗体 6 の平均温度との関係は、数 1 3 中の回路定数 R_1 や R_2 により調整できる。

【 0 0 5 5 】

このような構成および制御を採用することにより、流体の温度が変化したときの特性の変化を補償することができ、温度特性が向上する。

【 0 0 5 6 】

(実施の形態 8)

実施の形態 7 では、電圧 V_t が流体温度によって変化するように、流体温度検出抵抗体 5 5 (R_a) を抵抗 R_1 、 R_2 と直列に接続した。しかし、数 1 3 から理解されるように、電圧 V_e を流体温度によって変化させても同様の効果が得られる。例えば図 1 8 のような構成を採用することもできる。

【 0 0 5 7 】

図 1 8 は、実施の形態 8 における、電圧 V_e を出力する回路図である。この回路では、固定抵抗 (R_3, R_4) および流体温度検出抵抗体 5 5 により定電圧源 5 6 を分圧した電圧を電圧 V_e として出力する。流体温度の変化は、流体温度検出抵抗体 5 5 を用いて検出されるので、流体温度が変化したときに V_e を変化させることができる。よって、上流側温度検出抵抗体 5 (図 1 7) の温度 (T_{su}) と下流側温度検出抵抗体 6 (図 1 7) の温度 (T_{sd}) の平均値も、流体温度 T_a により変化させることができる。流体温度 T_a と上流側温度検出抵抗体 5、下流側温度検出抵抗体 6 の平均温度との関係は、図 1 8 中の固定抵抗 R_3 や R_4 により調整すればよい。

【 0 0 5 8 】

上述の公正によれば、流体の温度が変化したときの特性の変化を補償することができ、温度特性が向上する。

【 0 0 5 9 】

(実施の形態 9)

実施の形態 8 で説明したように、流体温度検出抵抗体を用いれば、流体温度の変化を反映した特性の変化を保証できる。

【 0 0 6 0 】

図 1 9 は、実施の形態 9 における、流体温度検出抵抗体 5 5 を挿入した流体流量測定装置の回路図である。

【 0 0 6 1 】

さらに言うまでもなく、実施の形態 3、4、5、6 においても、図 1 7、1 8、1 9 に示す回路の構成を採用することにより、流体の温度が変化したときの特性の変化を補償することができ、温度特性が向上する。

【 0 0 6 2 】

(実施の形態 1 0)

実施の形態 1 において、図 5 に示す上流側温度検出抵抗体 5 と下流側温度検出抵抗体 6 の温度差 ($\Delta T_s = T_{su} - T_{sd}$) の流量依存性が、曲線 2 5 により示されているとする。また、中央発熱抵抗体 4 の温度 (T_h) と流体の温度 (T_a) との温度差を ΔT_h とする ($\Delta T_h = T_h - T_a$)。この温度差 ΔT_h と、流体の流量との関係は、図 2 0 の曲線 5 7 に示すとおりである。すなわち、図 2 0 は、流体の流量と温度差 ΔT_h との関係を示すグラフである。両者の間には以下のような関係があることが実験的に確かめられている。

【数 1 4】

$$\Delta T_s = k(Q) \times \Delta T_h$$

【 0 0 6 3 】

ここで $k(Q)$ は流量に依存する係数である。数 1 4 から理解されるように、 ΔT_h を変化させることにより、抵抗体 5 と 6 の温度差 ΔT_s を変化させることができる。

【 0 0 6 4 】

実施の形態 1 0 では、抵抗体 4 と流体の温度差 ΔT_h を流量に応じて変化させる。図 2 1 は、流量によって変化させた温度差 ΔT_h を示すグラフ 5 7 を示す。温度差 ΔT_h をこのように変化させることにより、 ΔT_s を線形にすることができる。図 2 2 は、図 2 1 に示す抵抗体 4 と流体の温度差 ΔT_h に基づいて得られた、抵抗体 5 と 6 の温度差 ΔT_s を示す線形のグラフ 5 8 である。数 8 によれば、出力電圧 V_{out} は ΔT_s に比例することから、 ΔT_s が線形であれば、流量に対し

て線形な出力電圧 V_{out} が得られる。

【 0 0 6 5 】

出力電圧が流量に対して線形になると、脈動流特性が改善されることを図 2 3、図 2 4 において説明する。図 2 3、および、図 2 4 は、脈動流特性の説明図である。脈動流特性とは、流体の流量がある周波数で変動している場合にいかに正確に流量測定を行えるかという特性である。自動車のエンジンに吸入される空気の管路内では、高負荷域において、脈動流が実際に発生する場合がある。図 2 3 を参照して、まず従来の場合（出力電圧が非線形の場合）を説明する。曲線 5 9 は、流量と出力電圧の関係を示す。このとき、曲線 6 0 で示すような、流量が時間的に変動する脈動流を電圧変換すると、曲線 6 1 で示す波形が得られる。自動車用のエンジン制御の場合、ある時間間隔の平均値を出力として用いる。そこで曲線 6 1 の平均値を計算すると、一点鎖線 6 2 で示す電圧レベルとなる。ところが、これを曲線 5 9 を用いて流量変換すると一点鎖線 6 3 で示す流量になるが、これは脈動流 6 0 の平均流量 6 4 と一致しない。上述のように、非線形の流量－出力関係を用いて脈動流を電圧変換し、その平均電圧を再度流量変換するような信号処理をすると、実際の平均流量とは異なる流量値が計算される。この差が脈動流誤差として現れる。

【 0 0 6 6 】

図 2 4 の曲線 6 5 で示すように、流量と出力電圧の関係が線形である場合は、脈動流量 6 0 を電圧変化すると 6 6 で示すような波形となり、その平均電圧を流量換算した値 6 7 と脈動流量 6 0 の平均値 6 4 とは一致する。このため脈動流誤差は発生しない。

【 0 0 6 7 】

本実施の形態では、流量と出力電圧の関係が線形となるように発熱抵抗体 4 の温度を流量によって変化させたので脈動特性が改善される。なお、本実施の形態の内容は、実施の形態 2 に対しても適用できる。これにより、上述した本実施の形態の効果と同じ効果が得られる。

【 0 0 6 8 】

（実施の形態 1 1）

図 2 5 は、実施の形態 1 1 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。流体流量測定装置は、シリコン基板 1 上に形成された薄肉部 3 に、上流側から上流側温度検出抵抗体 5、第 1 の発熱抵抗体 6 8、第 2 の発熱抵抗体 6 9、第 3 の発熱抵抗体 7 0、第 4 の発熱抵抗体 7 1、下流側温度検出抵抗体 6 の 6 つの抵抗体を備えている。なお、「温度検出抵抗体」、および、「発熱抵抗体」と区別しているが、これらは、「感温抵抗体」と呼ばれる同一の要素と考えることができる。すなわち、感温抵抗体は、温度を検出する機能と、熱を発する機能の 2 つの機能を有する。

【 0 0 6 9 】

図 2 6 は、実施の形態 1 1 による、6 つの抵抗体を含む、流体流量測定装置の回路図である。上流側温度検出抵抗体 5 (R_{su}) と下流側温度検出抵抗体 6 (R_{sd}) には定電流源 1 3 が接続され、定電流 I_s が供給される。上流側温度検出抵抗体 5 の両端電圧 (V_{su}) と下流側温度検出抵抗体 6 の両端電圧 (V_{sd}) とは、それぞれコンパレータ 7 2 の - 入力端子と + 入力端子とに入力される。コンパレータ 7 2 の出力は、上流側温度検出抵抗体 5 の温度が下流側温度検出抵抗体 6 の温度より低い場合 (すなわち $V_{su} < V_{sd}$ の場合) にはハイレベルとなり、逆の場合 (すなわち $V_{su} > V_{sd}$ の場合) にはローレベルとなる。コンパレータ 7 2 の出力はスイッチ 7 4、7 5 に接続される。

【 0 0 7 0 】

第 1 の発熱抵抗体 6 8 と第 4 の発熱抵抗体 7 1 には、定電流 I_s を供給する定電流源 8 0 が接続されている。第 1 の発熱抵抗体 6 8 の両端電圧 8 2 (V_{h1}) と、第 4 の発熱抵抗体 7 1 の両端電圧 8 5 (V_{h4}) は、それぞれコンパレータ 7 3 の - 入力端子と + 入力端子に入力される。コンパレータ 7 3 の出力は、第 1 の発熱抵抗体 6 8 の温度が第 4 の発熱抵抗体 7 1 の温度より低い場合 (すなわち $V_{h1} < V_{h4}$ の場合) はハイレベルとなり、逆の場合 (すなわち $V_{h1} > V_{h4}$ の場合) はローレベルとなる。コンパレータ 7 3 の出力はスイッチ 7 6、7 7、7 8、7 9 に接続されている。スイッチ 7 4 の一端は電源 1 1 に接続され、他端はスイッチ 7 8 の一端、および、スイッチ 7 9 の一端に接続されている。スイッチ 7 8 の他端は、第 2 の発熱抵抗体 6 9 に接続され、スイッチ 7 9 の他端は第 1 の発熱抵抗体 6 8 に接続

されている。また、スイッチ 7 5 の一端は電源 1 1 に接続され、他端はスイッチ 7 6 の一端、および、スイッチ 7 7 の一端に接続されている。スイッチ 7 6 の他端は第 4 の発熱抵抗体 7 1 に接続され、スイッチ 7 7 の他端は第 3 の発熱抵抗体 7 0 に接続されている。コンパレータ 7 2 の出力端 1 6 とコンパレータ 7 3 の出力端 8 1 の電圧が出力電圧となる。

【 0 0 7 1 】

次に図 2 6 の回路の動作を説明する。上流側から流体の流れが生じた場合、上流側温度検出抵抗体 5 の温度は下流側温度検出抵抗体 6 の温度より低くなり、それぞれの両端電圧の関係は $V_{su} < V_{sd}$ となる。このときコンパレータ 7 2 の出力はハイレベルになるので、スイッチ 7 4 がオンされ、スイッチ 7 5 がオフされる。またこのとき、第 1 の発熱抵抗体 6 8 の温度は第 4 の発熱抵抗体 7 1 の温度よりも低くなり、それぞれの両端電圧の関係は $V_{h1} < V_{h4}$ となる。よってコンパレータ 7 3 の出力はハイレベルとなり、スイッチ 7 6 とスイッチ 7 8 がオンされ、スイッチ 7 7 とスイッチ 7 9 はオフされる。すると第 2 の発熱抵抗体 6 9 が電源 1 1 に接続される。

【 0 0 7 2 】

第 2 の発熱抵抗体 6 9 に電流が流れるとジュール熱により発熱し、近傍にある第 1 の発熱抵抗体 6 8 の温度を上昇させる。第 1 の発熱抵抗体 6 8 の温度が上昇して、第 4 の発熱抵抗体 7 1 の温度より高くなると、それぞれの両端電圧の関係は $V_{h1} > V_{h4}$ となる。このときコンパレータ 7 3 の出力はローレベルとなり、スイッチ 7 6、7 8 はオフされ、スイッチ 7 7、7 9 はオンされて、第 1 の発熱抵抗体 6 8 と電源 1 1 とが接続される。

【 0 0 7 3 】

第 1 の発熱抵抗体 6 8 に電流が流れるとジュール熱により発熱し、近傍にある上流側温度検出抵抗体 5 の温度を上昇させる。上流側温度検出抵抗体 5 の温度が上昇して、下流側温度検出抵抗体 6 の温度より高くなると、それぞれの両端電圧の関係は $V_{su} > V_{sd}$ となる。その結果、コンパレータ 7 2 の出力がローレベルとなり、スイッチ 7 4 はオフされ、スイッチ 7 5 はオンされる。すると、第 3 の発熱抵抗体 7 0 と電源 1 1 とが接続され、第 3 の発熱抵抗体 7 0 に電流が流れる。

【 0 0 7 4 】

第 3 の発熱抵抗体 7 0 はジュール熱により発熱し、近傍にある第 4 の発熱抵抗体 7 1 の温度を上昇させる。第 4 の発熱抵抗体 7 1 の温度が上昇して、第 1 の発熱抵抗体 6 8 の温度より高くなると、それぞれの両端電圧の関係は $V_{h1} < V_{h4}$ となる。このときコンパレータ 7 3 の出力はハイレベルとなり、スイッチ 7 7、7 9 はオフされ、スイッチ 7 6、7 8 はオンされる。すると第 4 の発熱抵抗体 7 1 と電源 1 1 が接続され、第 4 の発熱抵抗体 7 1 に電流が流れる。

【 0 0 7 5 】

第 4 の発熱抵抗体 7 1 はジュール熱により発熱し、近傍にある下流側温度検出抵抗体 6 の温度を上昇させる。下流側温度検出抵抗体 6 の温度が上昇し、上流側温度検出抵抗体 5 の温度より高くなると、それぞれの両端電圧の関係は $V_{su} < V_{sd}$ となる。このときコンパレータ 7 2 の出力はハイレベルとなり、スイッチ 7 5 はオフされ、スイッチ 7 4 はオンされて、初期の状態に戻る。

【 0 0 7 6 】

このように、スイッチ 7 4、7 5、7 6、7 7、7 8、7 9 によって、電源 1 1 を第 1、第 2、第 3、第 4 の発熱抵抗体に順番に切り換える動作が繰り返され、上流側温度検出抵抗体 5 の温度と下流側温度検出抵抗体 6 の温度、および、第 1 の発熱抵抗体 6 8 の温度と第 4 の発熱抵抗体 7 1 の温度が等しくなるように制御される。

【 0 0 7 7 】

図 2 7 は、抵抗体 6 8 ~ 7 1 (図 2 6) の端子電圧と、出力端子 1 6、8 1 (図 2 6) の電圧との関係を示す図である。図中、パルス 8 6 は、図 2 6 における第 1 の出力電圧 1 6 (V_{out1}) を示す。パルス 8 7 は、第 2 の出力電圧 8 1 (V_{out2}) を示す。また、パルス 8 8 は第 2 の発熱抵抗体 6 9 の両端電圧 (V_{h2})、パルス 8 9 は第 1 の発熱抵抗体 6 8 の両端電圧 (V_{h1})、パルス 9 0 は第 3 の発熱抵抗体 7 0 の両端電圧 (V_{h3})、パルス 9 1 は第 4 の発熱抵抗体 7 1 の両端電圧 (V_{h4}) を示す。図 2 7 に示すタイミングから明らかなように、パルス 8 6 (V_{out1}) およびパルス 8 7 (V_{out2}) の両方がハイレベルのとき、パルス 8 8 (V_{h2}) がハイレベルになる。そして、その後、 V_{h1} 、 V_{h3} 、 V_{h4} の順にハイレベル状態が移動し、

再度Vh2に戻る。図28は、Vout1, Vout2とVh1～Vh4との関係を示す図である。

上流側から流体が流れている場合、上流側温度検出抵抗体5の温度が下流側温度検出抵抗体6の温度より低い時間の方が長いため、コンパレータ72の出力がハイレベルにある時間(t1)の方がローレベルにある時間(t2)より長くなる。また、第1の発熱抵抗体68の温度が第4の発熱抵抗体71の温度より低い時間の方が長いためコンパレータ73の出力がハイレベルにある時間(t3)の方がローレベルにある時間(t4)より長くなる。それぞれの差(あるいは比)は流体の流量が大きいほど大きくなる。逆流の場合は大小関係が逆になる。

【0078】

図29に示すように、出力電圧86(Vout1)、87(Vout2)をローパスフィルタ92、93に通すことにより、アナログ出力電圧94、95が得られる。アナログ出力電圧94、95は、出力電圧86、87のデューティ比 $[t1/(t1+T2)]$ 、および、 $[t3/(t3+t4)]$ に応じた値をとる。アナログ出力電圧94、95を加算回路96によって加算することにより最終的な出力電圧97が得られる。よって電圧97を測定することにより、流体の流量を知ることができる。

【0079】

図30は、2つの出力電圧94、95から得られた最終的な出力電圧97のグラフを示す図である。上流側温度検出抵抗体5および下流側温度検出抵抗体6の温度の大小関係に基づいて得られた出力電圧94(Vout1)は、第1の発熱抵抗体68と第4の発熱抵抗体71の温度の大小関係に基づいて得られた出力電圧95(Vout2)よりも、より小流量域で変化が大きくなる。逆に大流量域では、出力電圧94(Vout1)が飽和状態になるのに対し、出力電圧95(Vout2)は変化が大きくなる。これは上流側温度検出抵抗体5と下流側温度検出抵抗体6が薄肉部3上の高温部(中央部)から離れた位置にあり、小流量で温度変化がおきやすいためであり、さらに、第1、第4の発熱抵抗体68、71は高温部により近く、大流量で温度変化が起きやすくなるためである。2つの出力電圧を加算することにより、小流量でも大流量でも感度の高い出力電圧97が得られる。比較のため、従来の出力電圧98を点線で示す。

【0080】

以上のように、本実施の形態では小流量域で感度の良い出力と大流量域で感度の良い出力を加算して出力とするので、広範囲において感度の良い出力が得られ、ダイナミックレンジが拡大する。また、上流側温度検出抵抗体 5、下流側温度検出抵抗体 6、第 1 の発熱抵抗体 6 8、第 4 の発熱抵抗体 7 1 の温度をフィードバック制御することになるので、オープンループだった従来に比べ応答性が向上する。

【 0 0 8 1 】

(実施の形態 1 2)

図 3 1 は、図 2 9 で説明した出力電圧 8 6 (V_{out1}) および 8 7 (V_{out2}) をデジタル出力するための処理を示す図である。出力電圧 8 6、8 7 と高周波パルス信号 9 9 を乗算器 1 0 0、1 0 1 によって乗算すると、出力電圧 8 6、8 7 がハイレベルにあるときだけ (図 2 7 の t_1 、 t_3 の間だけ) 高周波パルス 1 0 2、1 0 3 が残る。これら高周波パルス 1 0 2、1 0 3 のパルス数を、一定時間、パルスカウンタ 1 0 4、1 0 5 で計数し、その結果を加算回路 1 0 6 で加算することにより、デジタル出力 1 0 7 が得られる。

【 0 0 8 2 】

このような構成にすることにより、実施の形態 1 1 と同様の効果が得られる上に、CPU との結合性が良くなる。

【 0 0 8 3 】

(実施の形態 1 3)

実施の形態 1 1 では、デューティ比 $[t_1/(t_1+t_2)]$ 、 $[t_3/(t_3+t_4)]$ を出力として採用したが、デューティ比差 $[(t_1-t_2)/(t_1+t_2)]$ 、 $[(t_3-t_4)/(t_3+t_4)]$ を出力とすることもできる。

【 0 0 8 4 】

図 3 2 は、デューティ比差を出力するための処理を示す図である。まず、出力電圧 8 6 (V_{out1}) は、ローパスフィルタ 9 2 に通され、アナログ電圧 9 4 が得られる。また、出力電圧 8 6 (V_{out1}) は、反転回路 1 0 8 で反転され、さらにローパスフィルタ 1 1 0 に通され、アナログ電圧 1 1 2 が得られる。これらのアナログ電圧 9 4、1 1 2 を減算回路 1 1 4 で減算処理することにより、デューティ比

差 $[(t_1-t_2)/(t_1+t_2)]$ に応じたアナログ電圧 1 1 6 が得られる。

【 0 0 8 5 】

一方、出力電圧 8 7 (V_{out2}) は、ローパスフィルタ 9 3 に通され、アナログ電圧 9 5 が得られる。また、出力電圧 8 7 (V_{out2}) は、反転回路 1 0 9 で反転され、さらにローパスフィルタ 1 1 1 に通され、アナログ電圧 1 1 3 が得られる。これらのアナログ電圧 9 5、1 1 3 を減算回路 1 1 5 で減算処理することにより、デューティ比差 $[(t_3-t_4)/(t_3+t_4)]$ に応じたアナログ電圧 1 1 7 が得られる。

【 0 0 8 6 】

以上のようにして得られたアナログ電圧 1 1 6、1 1 7 を、加算回路 9 6 で加算することにより最終出力電圧 9 7 が得られる。

【 0 0 8 7 】

このような構成によっても実施の形態 1 1 と同様の効果が得られるとともに、オフセット出力（流量 0 での出力）が 0 にできるので感度がさらに向上する。

【 0 0 8 8 】

（実施の形態 1 4）

図 3 3 は、図 2 9 で説明した出力電圧 8 6 (V_{out1}) および 8 7 (V_{out2}) をデジタル出力するための別の処理を示す図である。

【 0 0 8 9 】

まず乗算器 1 0 0 において、出力電圧 8 6 (V_{out1}) に高周波パルス信号 9 9 を乗算すると、出力電圧 8 6 がハイレベルにあるときだけ高周波パルス 1 0 2 が残る。このパルス 1 0 2 のパルス数を、一定時間、パルスカウンタ 1 0 4 で計数する。また、出力電圧 8 6 (V_{out1}) を反転回路 1 1 8 で反転し、乗算器 1 2 0 において、高周波パルス信号 9 9 を乗算すると、反転電圧がハイレベルにあるときだけ高周波パルス 1 2 2 が残る。このパルス 1 2 2 のパルス数を、一定時間、パルスカウンタ 1 2 4 で計数する。以上のようにして得られたパルスの計数結果を、減算回路 1 2 6 で減算処理する。

【 0 0 9 0 】

一方、乗算器 1 0 1 において、出力電圧 8 7 (V_{out2}) に高周波パルス信号 9 9 を乗算すると、出力電圧 8 7 がハイレベルにあるときだけ高周波パルス 1 0 3 が

残る。このパルス 1 0 3 のパルス数を、一定時間、パルスカウンタ 1 0 5 で計数する。また、出力電圧 8 7 (Vout2) を反転回路 1 1 9 で反転し、乗算器 1 2 1 において、高周波パルス信号 9 9 を乗算すると、反転電圧がハイレベルにあるときだけ高周波パルス 1 2 3 が残る。このパルス 1 2 3 のパルス数を、一定時間、パルスカウンタ 1 2 5 で計数する。以上のようにして得られたパルスの計数結果を、減算回路 1 2 7 で減算処理する。

【 0 0 9 1 】

以上のようにして求めたそれぞれの減算結果を、加算回路 1 0 6 において加算することにより、最終的なデジタル出力 1 0 7 が得られる。

【 0 0 9 2 】

このような構成にすることによっても、実施の形態 1 3 と同様の効果が得られる上に、CPU との結合性が良くなる。

【 0 0 9 3 】

実施の形態 1 1、1 2、1 3、1 4 の回路構成では、上流温度検出抵抗体 5 と下流温度検出抵抗体 6、第 1 の発熱抵抗体 6 8、および、第 4 の発熱抵抗体 7 1 には、定電流を供給する定電流源 1 3、8 0 を用いた。しかし、定電圧を印加する定電圧源を用いても同様の結果が得られる。

【 0 0 9 4 】

(実施の形態 1 5)

図 3 4 は、実施の形態 1 5 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。

実施の形態 1 5 の流体流量測定装置では、第 2 の発熱抵抗体 6 9 と第 3 の発熱抵抗体 7 0 との間に中央発熱抵抗体 4 を形成した。図では、配線部 9 とパッド部 1 0 は図 2 5 と同様であるので、それらの記載は省略している。中央発熱抵抗体 4 (Rh)、上流側温度検出抵抗体 5 (Rsu)、および、下流側温度検出抵抗体 6 (Rsd) により定温度回路を構成し、上流側温度検出抵抗体 5 と下流側温度検出抵抗体 6 の平均温度が一定となるように中央発熱抵抗体 4 に供給する電力を制御する。定温度回路図は図 3 と同一である。

【 0 0 9 5 】

図 3 の回路によれば、上流側温度検出抵抗体 5 および下流側温度検出抵抗体 6 の平均温度を一定に保つことができる。さらに図 2 6 の回路により、上流側温度検出抵抗体 5 および下流側温度検出抵抗体 6 の温度を等しく制御することにより、抵抗体 5、6 の温度は全流量範囲において一定に保たれることになる。

【 0 0 9 6 】

以上のように、本実施の形態の構成によれば、上流側温度検出抵抗体 5 と下流側温度検出抵抗体 6 の温度が流量によらず一定に保たれるので、ダイナミックレンジの拡大が図れる。また、流量変化による温度変化が生じないので応答性が向上する。さらに、抵抗体の温度を 100°C 以上に保つことができるので、水滴などが付着した場合に即座に蒸発させることができ、水分付着による特性のドリフトを低減することができる。

【 0 0 9 7 】

(実施の形態 1 6)

図 3 5 は、実施の形態 1 6 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。図では、配線部 9 とパッド部 1 0 は図 2 5 と同様であるので、それらの記載は省略している。

【 0 0 9 8 】

実施の形態 1 6 では、シリコンチップ 1 上に流体の温度を検出する流体温度検出抵抗体 5 5 (Ra) を形成する。流体温度検出抵抗体 5 5 は発熱抵抗体 4、6 8、6 9、7 0、7 1 から熱的な影響を受けないように薄肉部 3 から離れた位置に形成される。流体温度検出抵抗体 5 5 の裏面のシリコンをエッチングにより除去し、流体温度検出抵抗体 5 5 を第 2 の薄肉部上に形成してもよい。

【 0 0 9 9 】

流体温度検出抵抗体 5 5 を用いて図 1 7 に示す回路を構成する。これにより、実施の形態 7 と同様に、上流側温度検出抵抗体 5 の温度 (T_{su}) と下流側温度検出抵抗体 6 の温度 (T_{sd}) との平均値が流体温度 T_a に依存した値となり、流体温度 T_a が高いときは上流側温度検出抵抗体 5 および下流側温度検出抵抗体 6 の平均温度も高い。一方、流体温度 T_a が低いときは上流側温度検出抵抗体 5 と下流側温度検出抵抗体 6 の平均温度も低くなるように制御される。流体温度 T_a と

上流側温度検出抵抗体 5、下流側温度検出抵抗体 6 の平均温度との関係は、数 1 3 中の回路定数 R1 や R2 により調整できる。

【0 1 0 0】

このような構成および制御を採用することにより、流体の温度が変化したときの特性の変化を補償することができ、温度特性が向上する。

【0 1 0 1】

【発明の効果】

2 つの検出体（センサ）が検出した温度の平均値が所定の値になるよう、制御回路が発熱体に供給する電力を制御するので、流量が増大しても、上流側、及び、下流側温度検出体の温度を高く保つことができる。よって、特に大流量での感度増大、ダイナミックレンジの拡大に効果がある。また、上流側と下流側の温度検出体の温度をフィードバック制御することになるので、オープンループだった従来に比べ応答性が改善する。

【0 1 0 2】

流体の流量が増大しても、上流側と下流側の温度検出体（センサ）の温度を、等しく一定に保つので、応答性が改善する。さらに、上流発熱体および下流発熱体を設けることにより、上流側と下流側のセンサの温度を高く保つことができるので、特に大流量での感度が増大し、ダイナミックレンジも拡大する。

【0 1 0 3】

流体の温度が変化しても流体と装置との温度差を一定に保つので、流体の温度変化が生じた場合でも流量を測定することができる。また、出力信号を流量に対して線形にすることができ、脈動時の誤差を低減することができる。

【0 1 0 4】

流体の上流側から下流側に設けた 6 つの感温抵抗体のうち、第 2、第 5 の感温抵抗体に供給される電力差は流体流量が小さいときに変化が大きく、第 3、第 4 の感温抵抗体に供給される電力差は流体流量が大きいときに変化が大きくなる。よって、広い流量範囲にわたって感度の良い流量測定が可能となる。また、上流側と下流側の感温抵抗体の温度をフィードバック制御することになるので応答性が改善する。

【 0 1 0 5 】

流量が増大しても、第 1 ～ 第 6 の感温抵抗体の温度を高く保つことができるので、特に大流量での感度増大、ダイナミックレンジの拡大に効果がある。また、上流側と下流側の温度検出体の温度を一定に保つことになるので応答性が改善する。

【 0 1 0 6 】

流体の温度が変化しても流体と装置との温度差が一定に保たれるので、流体の温度変化が生じた場合でも流量を測定できる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 実施の形態 1 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。

【図 2】 薄肉部 3 の断面図である。

【図 3】 実施の形態 1 による、抵抗体 4、5、6 を含む、流体流量測定装置の回路図である。

【図 4】 流体の流量に応じた、上流温度検出抵抗体 5 と下流温度検出抵抗体 6 の温度変化のグラフである。

【図 5】 上流温度検出抵抗体 5 の温度と下流温度検出抵抗体 6 の温度の差の流量依存性を示すグラフである。

【図 6】 実施の形態 2 による、抵抗体 4、5、6 を含む、流体流量測定装置の回路図である。

【図 7】 実施の形態 3 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。

【図 8】 実施の形態 3 による、抵抗体 5、6、28、29 を含む流体流量測定装置の回路図である。

【図 9】 抵抗体 28 (図 8) および抵抗体 29 (図 8) の端子電圧と、出力端子 16 (図 8) の電圧との関係を示す図である。

【図 10】 出力電圧 38 からアナログ電圧を得る際の処理を示す図である。

【図 11】 実施の形態 3 の構成による流量とデューティ比との関係を示す

グラフ 3 9 である。

【図 1 2】 図 1 0 で説明した出力電圧 V_{out} をデジタル出力するための処理を示す図である。

【図 1 3】 デューティ比差を出力するための処理を示す図である。

【図 1 4】 実施の形態 5 の構成による流量とデューティ比差との関係を示すグラフ 4 0 である。

【図 1 5】 上流側発熱抵抗体 2 8 (図 8) の + 側の端子 3 4 の電圧 4 8 (V_{hu}) と、下流側発熱抵抗体 2 9 (図 8) の + 側の端子 3 5 の電圧 4 9 (V_{hd}) とを、デジタル出力するための処理を示す図である。

【図 1 6】 実施の形態 7 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。

【図 1 7】 実施の形態 7 による、流体温度検出抵抗体 5 5 を含む、流体流量測定装置の回路図である。

【図 1 8】 実施の形態 8 における、電圧 V_e を出力する回路図である。

【図 1 9】 実施の形態 9 における、流体温度検出抵抗体 5 5 を挿入した流体流量測定装置の回路図である。

【図 2 0】 流体の流量と温度差 ΔT_h との関係を示すグラフである。

【図 2 1】 流量によって変化させた温度差 ΔT_h を示すグラフ 5 7 を示す。

【図 2 2】 図 2 1 に示す抵抗体 4 と流体の温度差 ΔT_h に基づいて得られた、抵抗体 5 と 6 の温度差 ΔT_s を示す線形のグラフ 5 8 である。

【図 2 3】 脈動流特性の説明図である。

【図 2 4】 脈動流特性の説明図である。

【図 2 5】 実施の形態 1 1 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。

【図 2 6】 実施の形態 1 1 による、6 つの抵抗体を含む、流体流量測定装置の回路図である。

【図 2 7】 抵抗体 6 8 ~ 7 1 (図 2 6) の端子電圧と、出力端子 1 6、8 1 (図 2 6) の電圧との関係を示す図である。

【図 2 8】 V_{out1} , V_{out2} と $V_{h1} \sim V_{h4}$ との関係を示す図である。

【図 2 9】 最終出力を出力するための処理を示す図である。

【図 3 0】 2 つの出力電圧 9 4、9 5 から得られた最終的な出力電圧 9 7 のグラフを示す図である。

【図 3 1】 図 2 9 で説明した出力電圧 8 6 (V_{out1}) および 8 7 (V_{out2}) をデジタル出力するための処理を示す図である。

【図 3 2】 デューティ比差を出力するための処理を示す図である。

【図 3 3】 図 2 9 で説明した出力電圧 8 6 (V_{out1}) および 8 7 (V_{out2}) をデジタル出力するための別の処理を示す図である。

【図 3 4】 実施の形態 1 5 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。

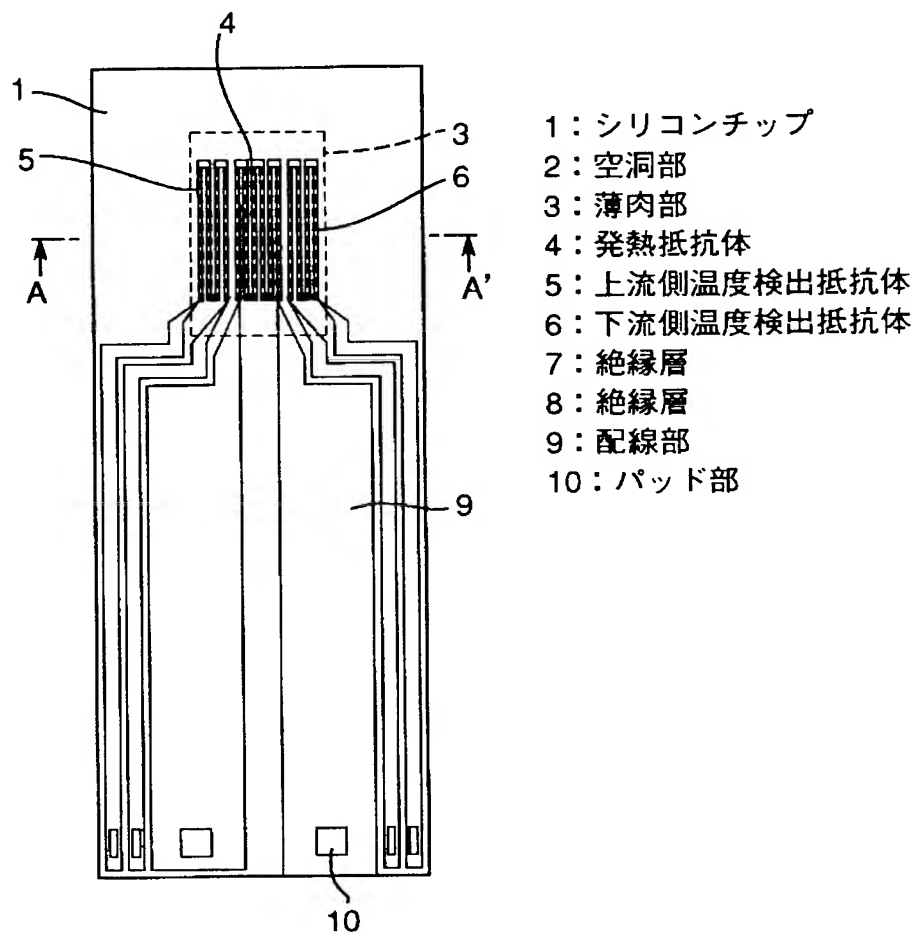
【図 3 5】 実施の形態 1 6 の流体流量測定装置の測定部の構成を示す図である。

【符号の説明】

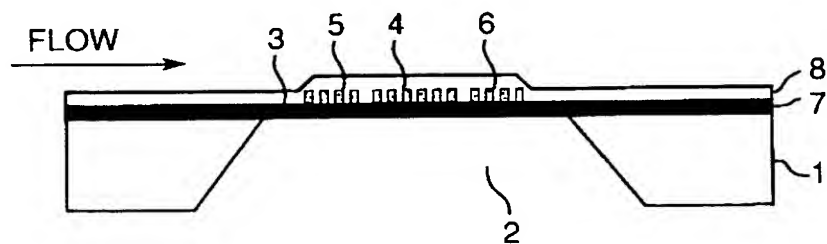
1 シリコン基板、 2 空洞部、 3 薄肉部、 4 発熱抵抗体、 5 上流側温度検出抵抗体、 6 下流側温度検出抵抗体、 7 絶縁層、 8 絶縁層、 9 配線部、 1 0 パッド部、 1 3 定電流源、 1 5 加算回路、 1 7 差動増幅器

【書類名】 図面

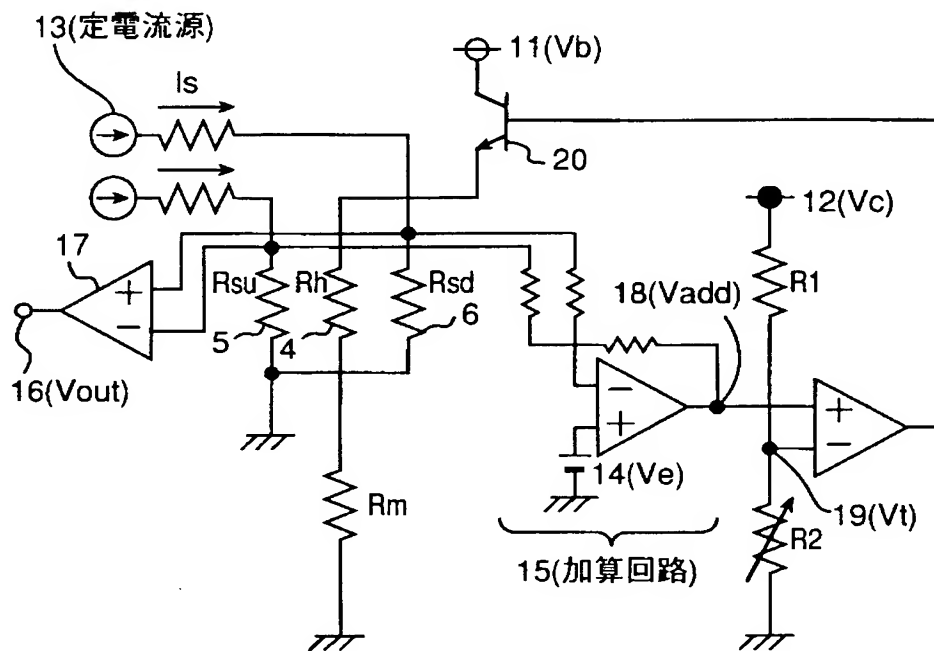
【図 1】



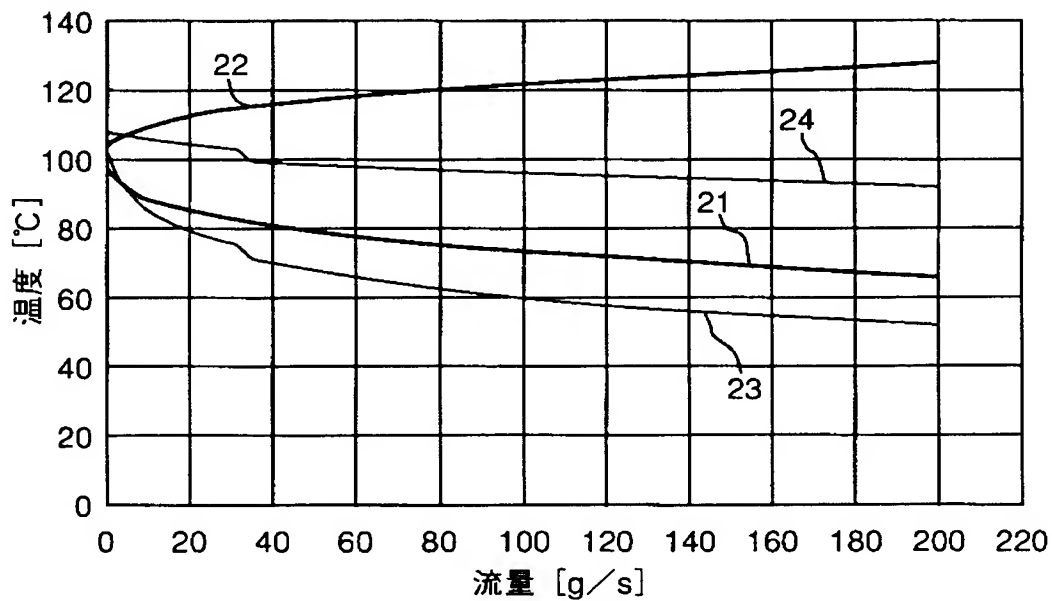
【図 2】



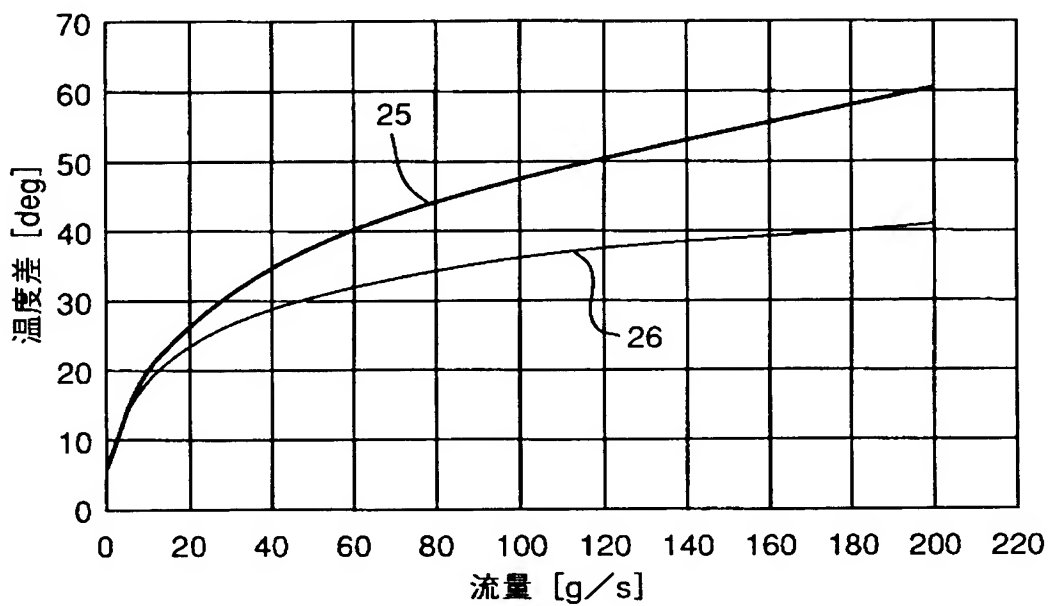
【図 3】



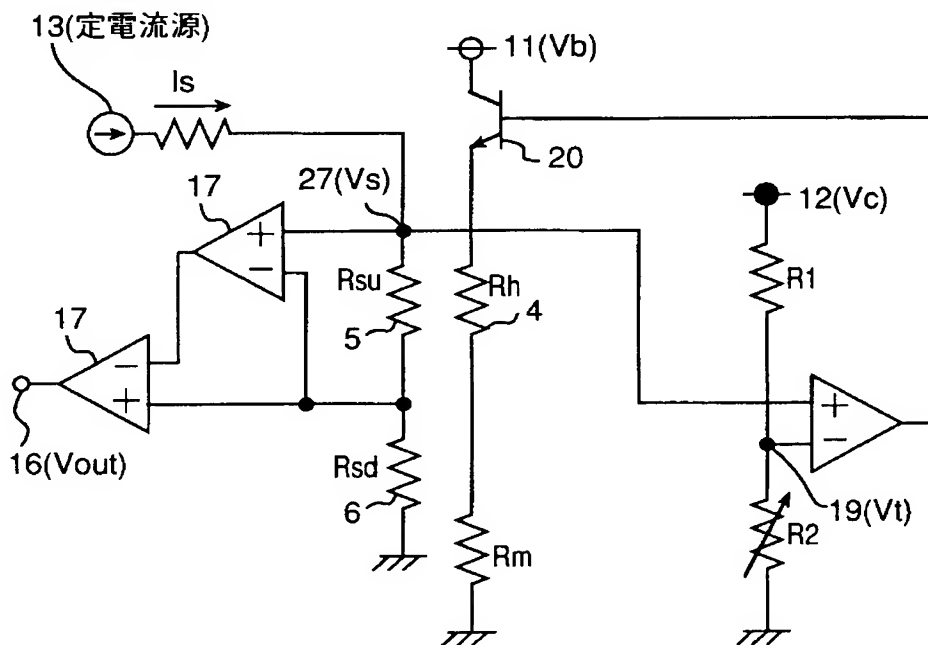
【図 4】



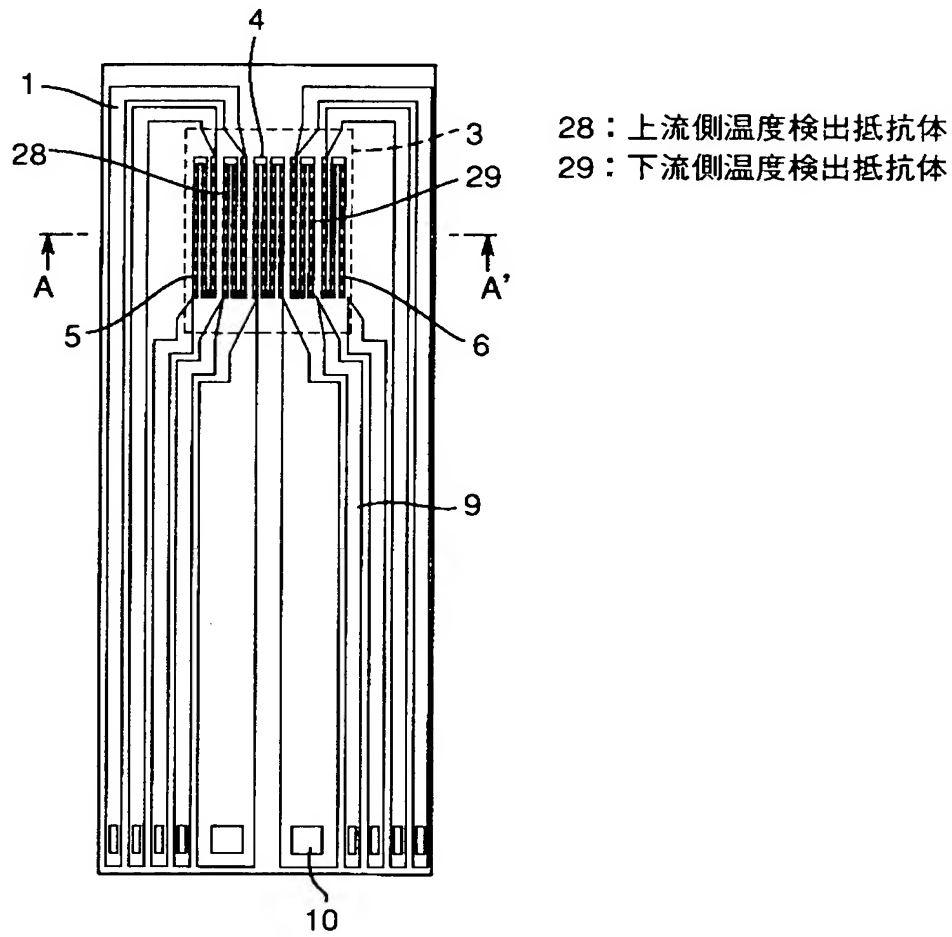
【図 5】



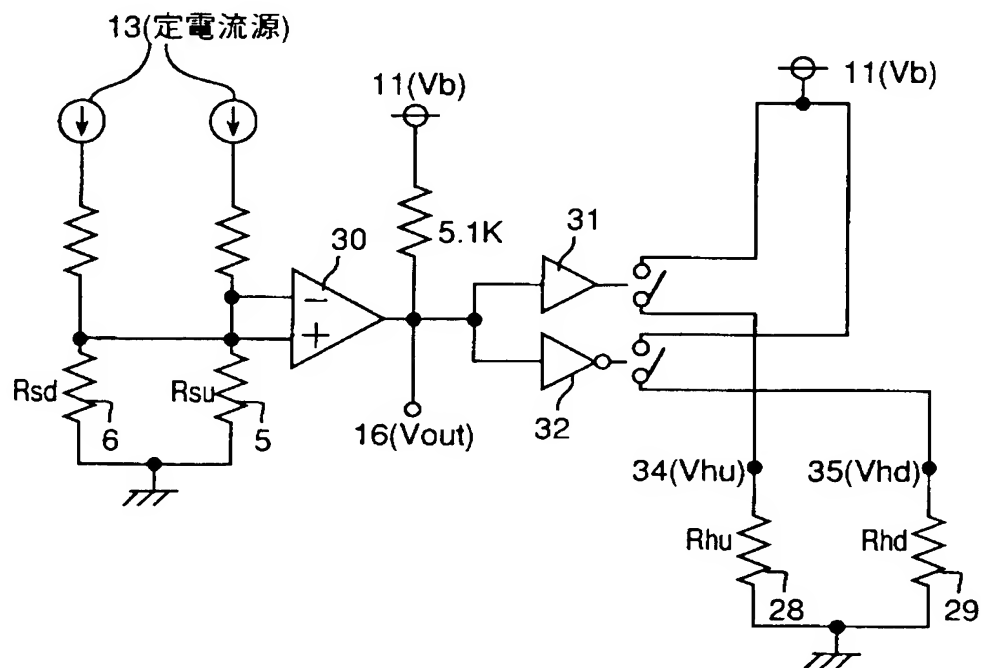
【図 6】



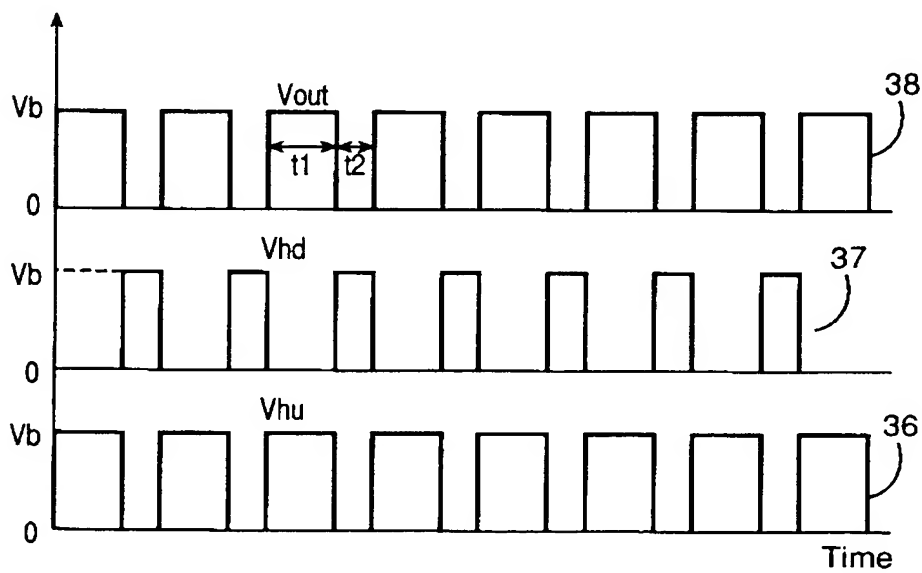
【図 7】



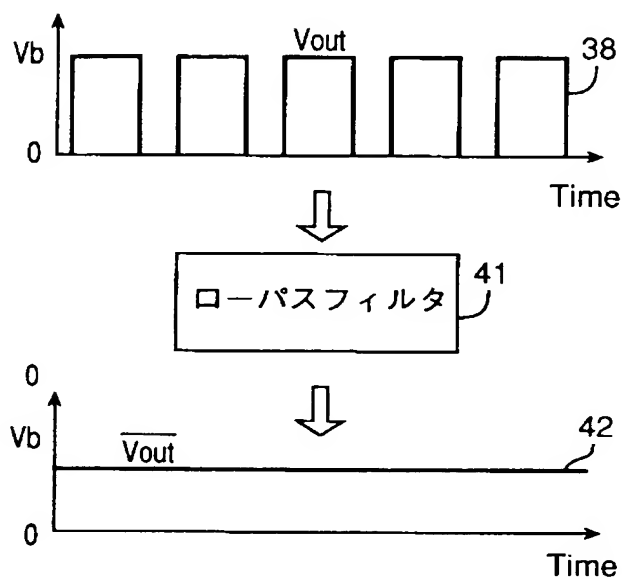
【図 8】



【図 9】

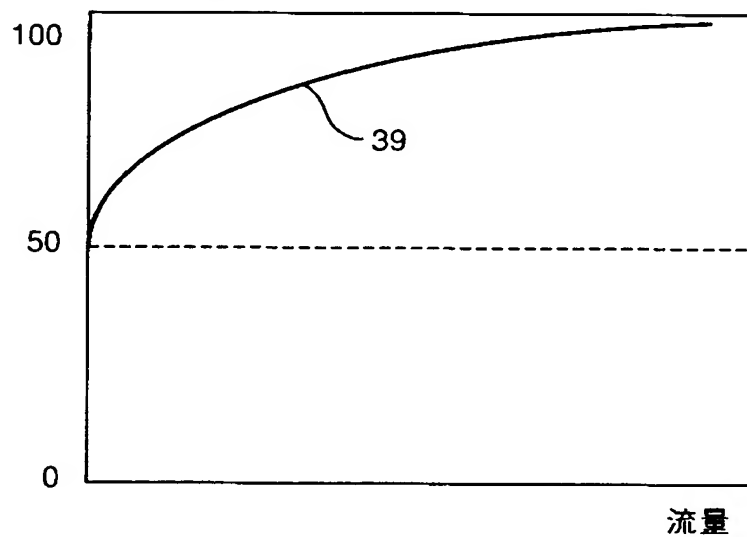


【図 1 0】

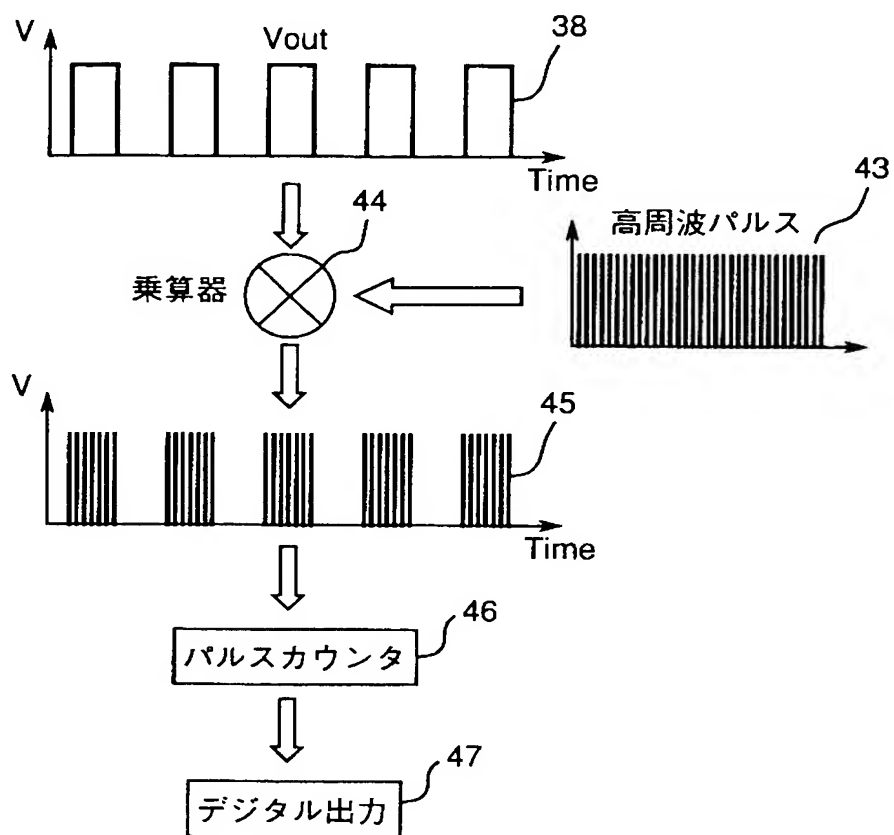


【図 1 1】

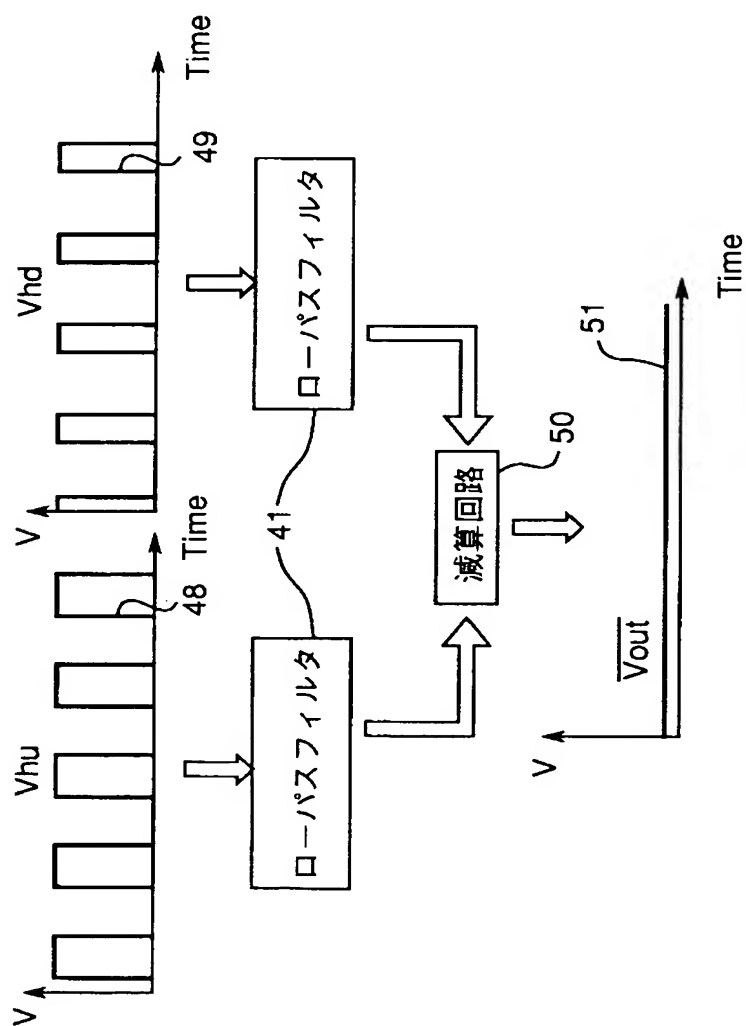
デューティ比 [%]



【図 1 2】

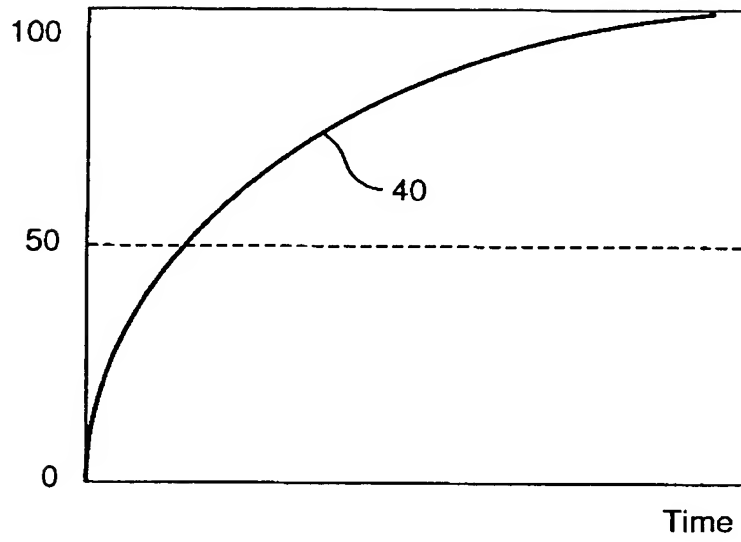


【図13】

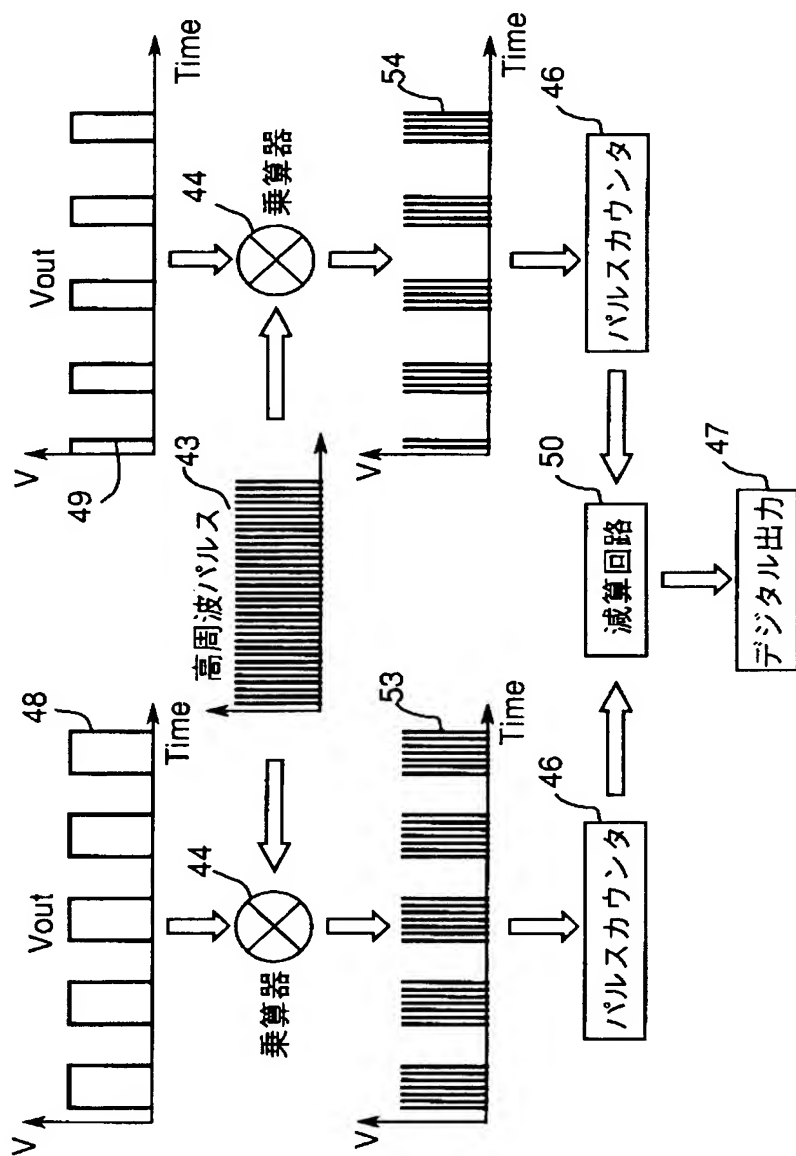


【図 1 4】

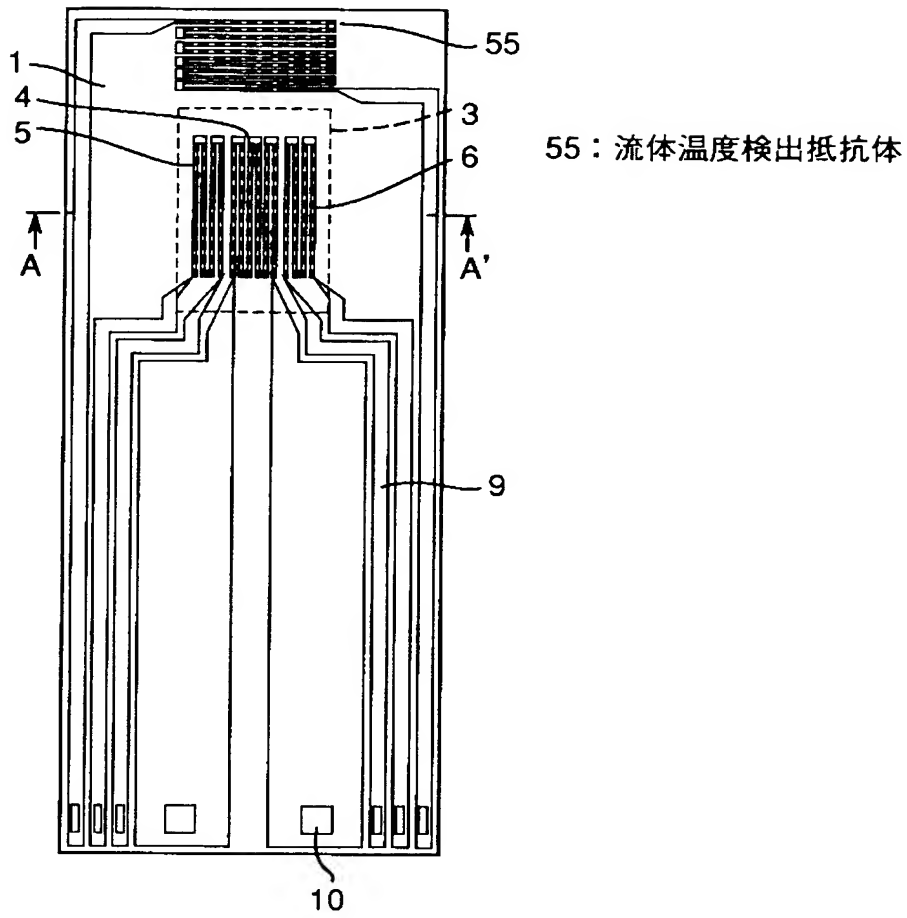
デューティ比差 [%]



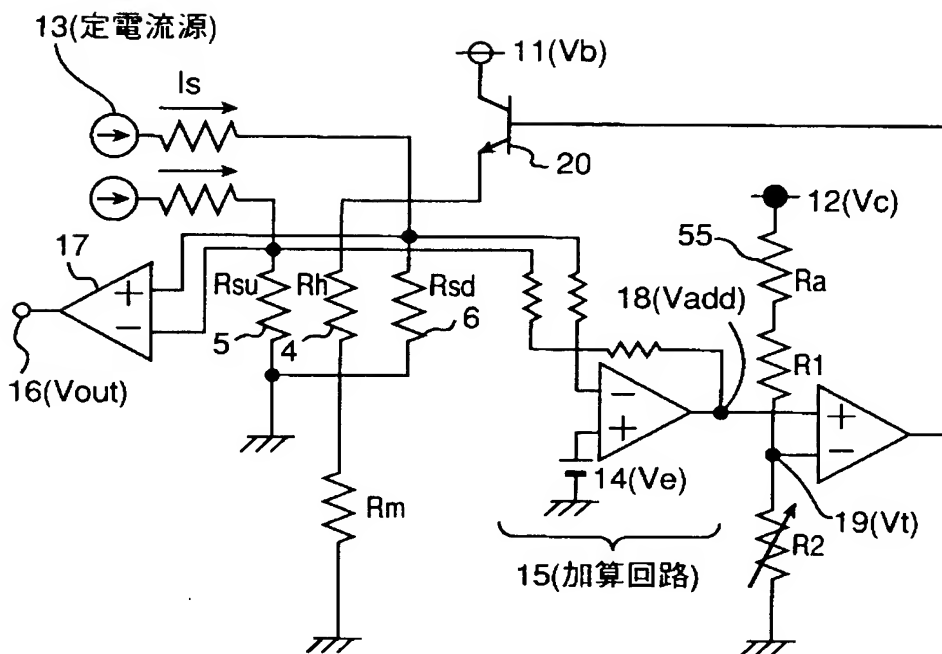
【図 15】



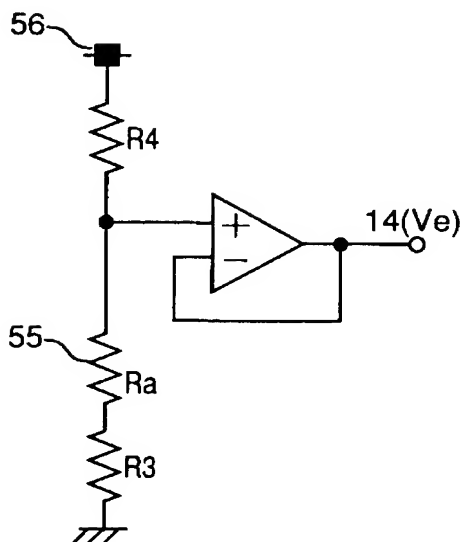
【図 1 6】



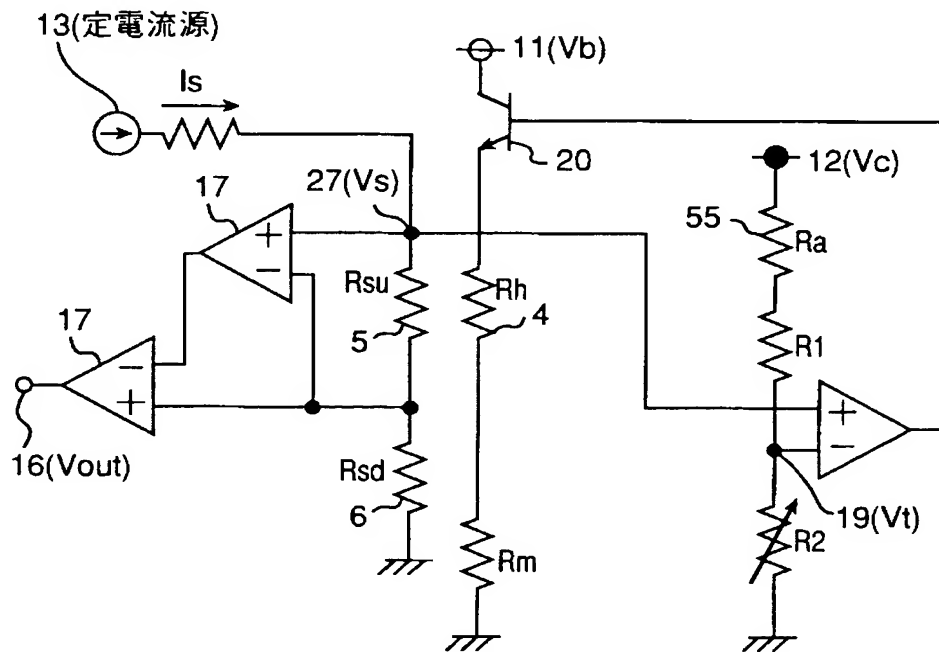
【図 1 7】



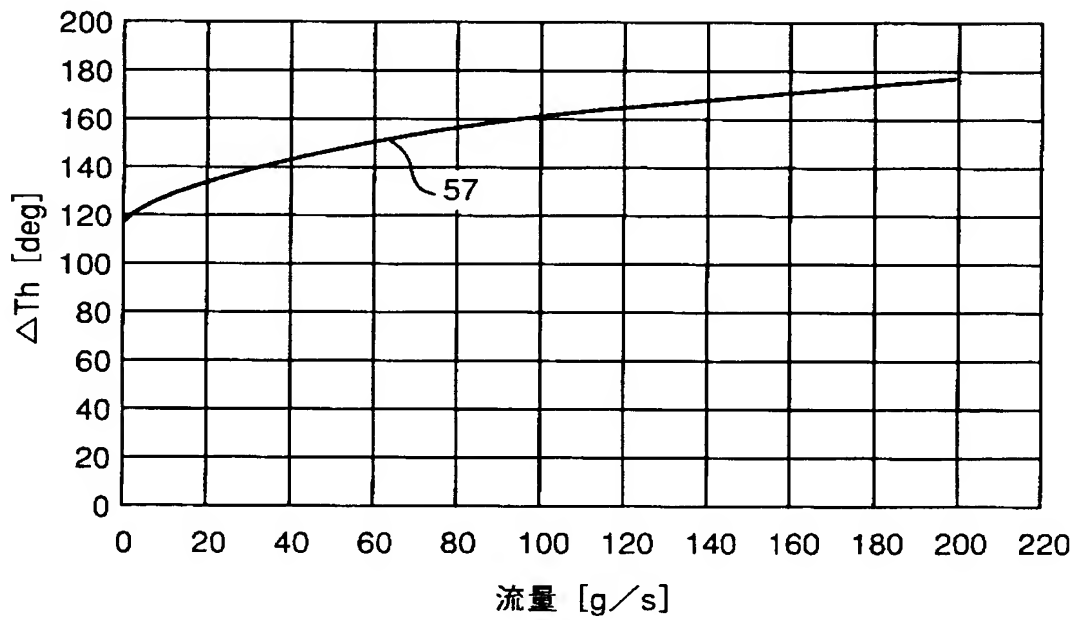
【図 1 8】



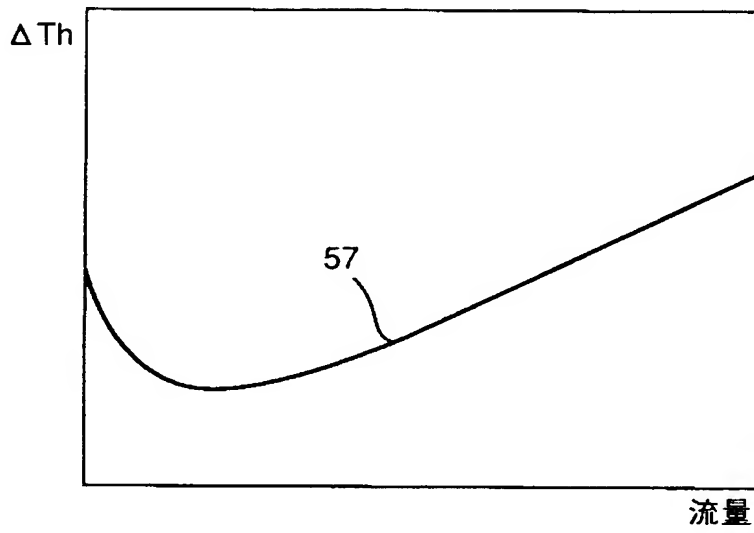
【図 1 9】



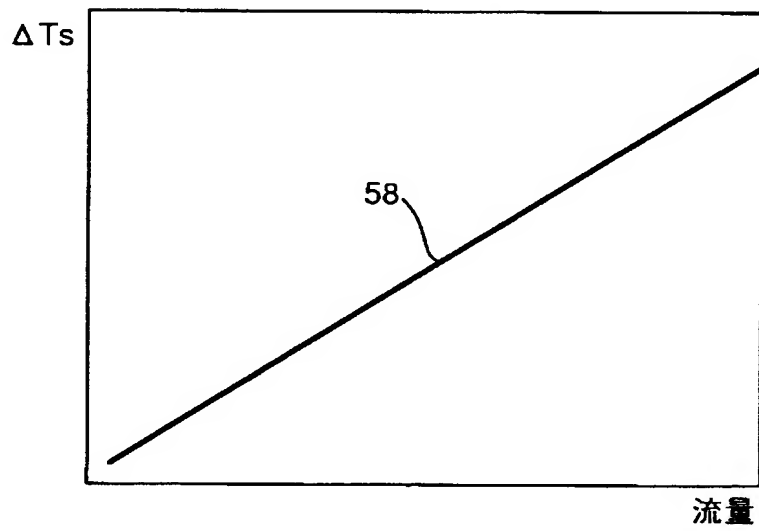
【図 2 0】



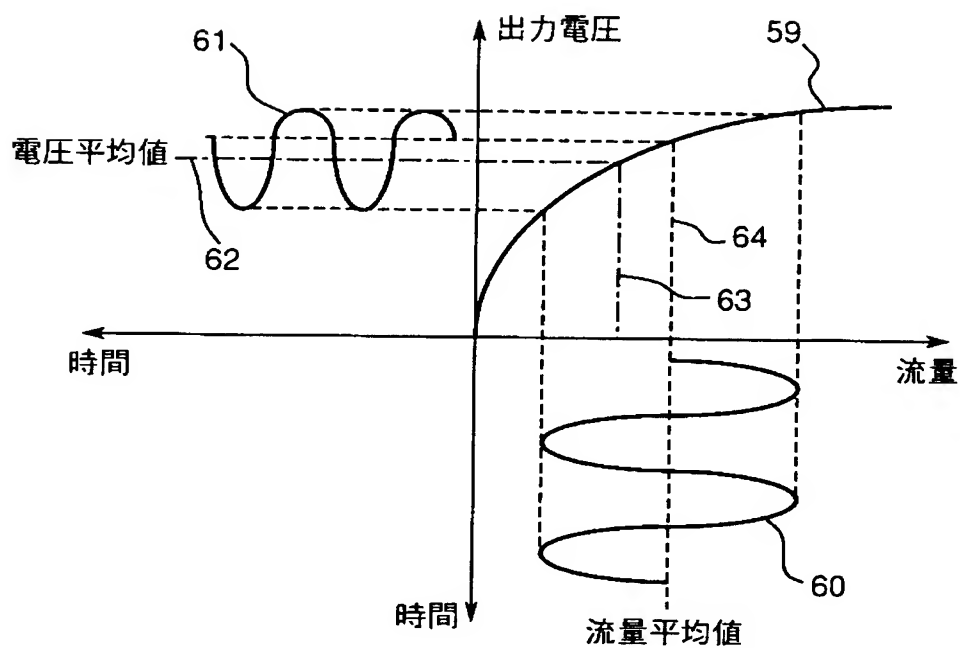
【図 2 1】



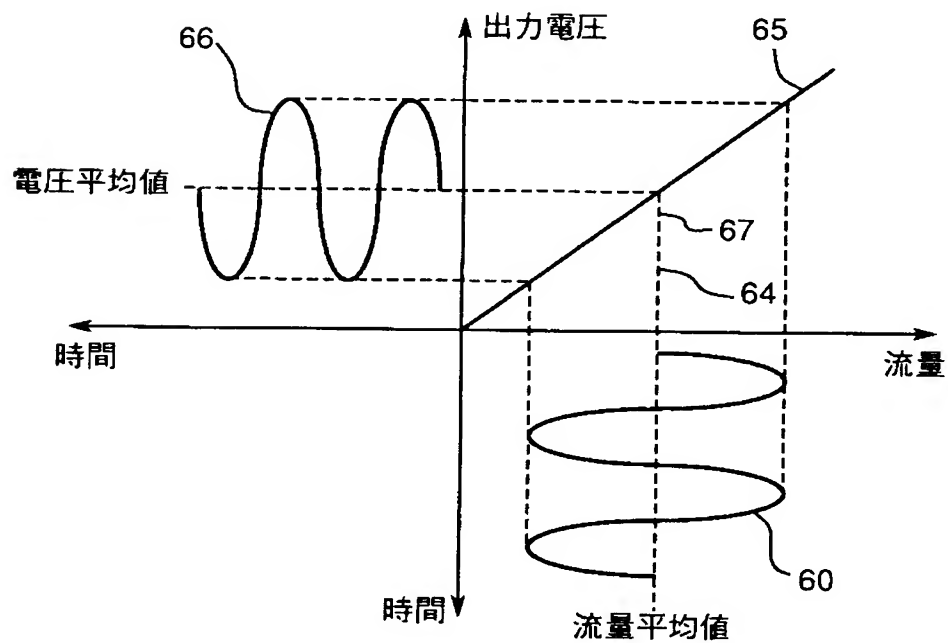
【図 2 2】



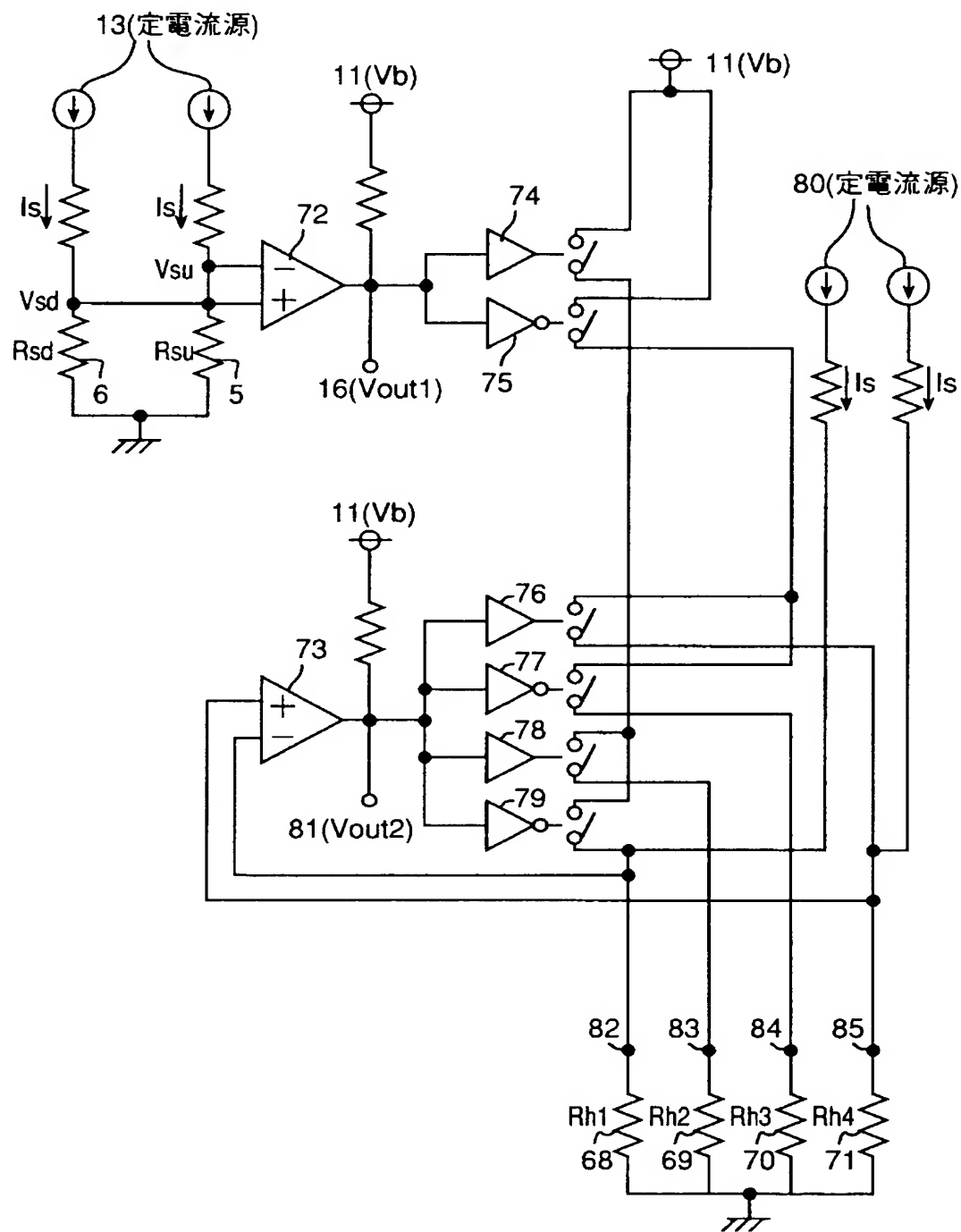
【図 2 3】



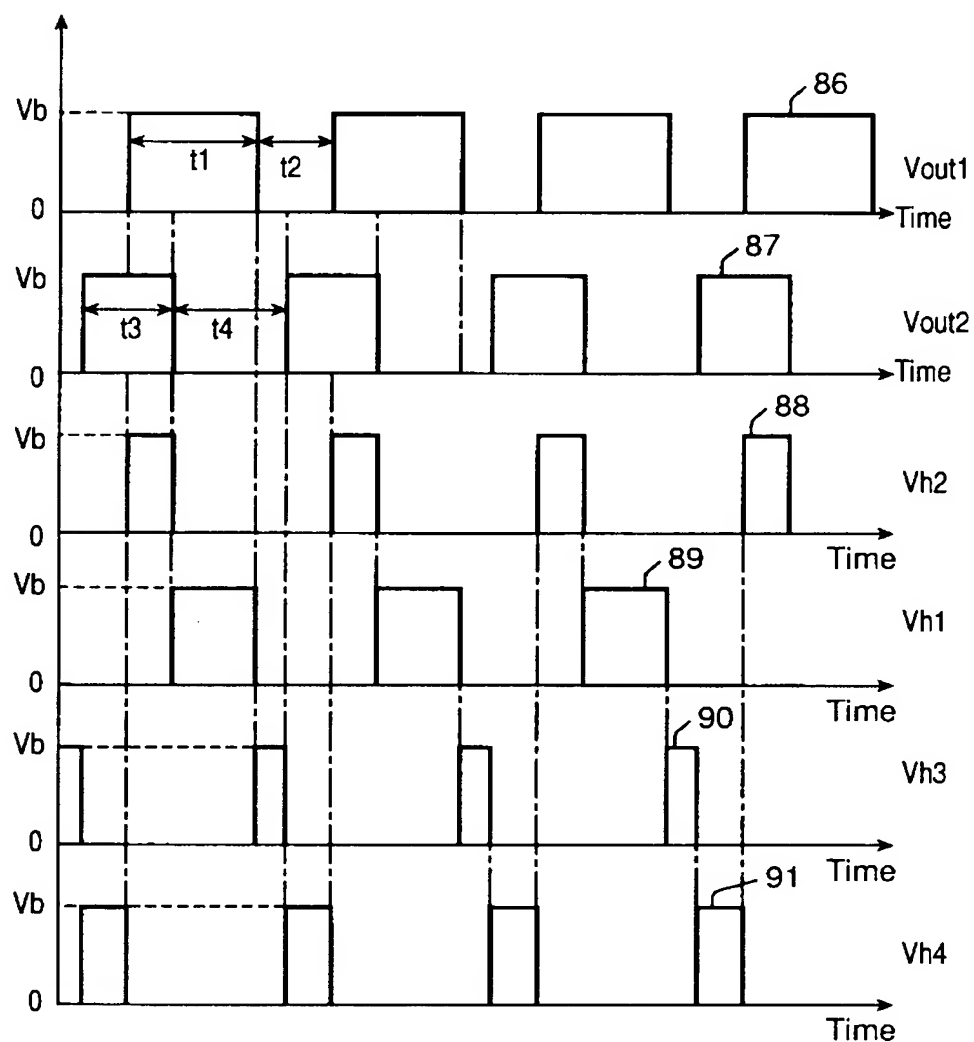
【図 2 4】



【図 2 6】



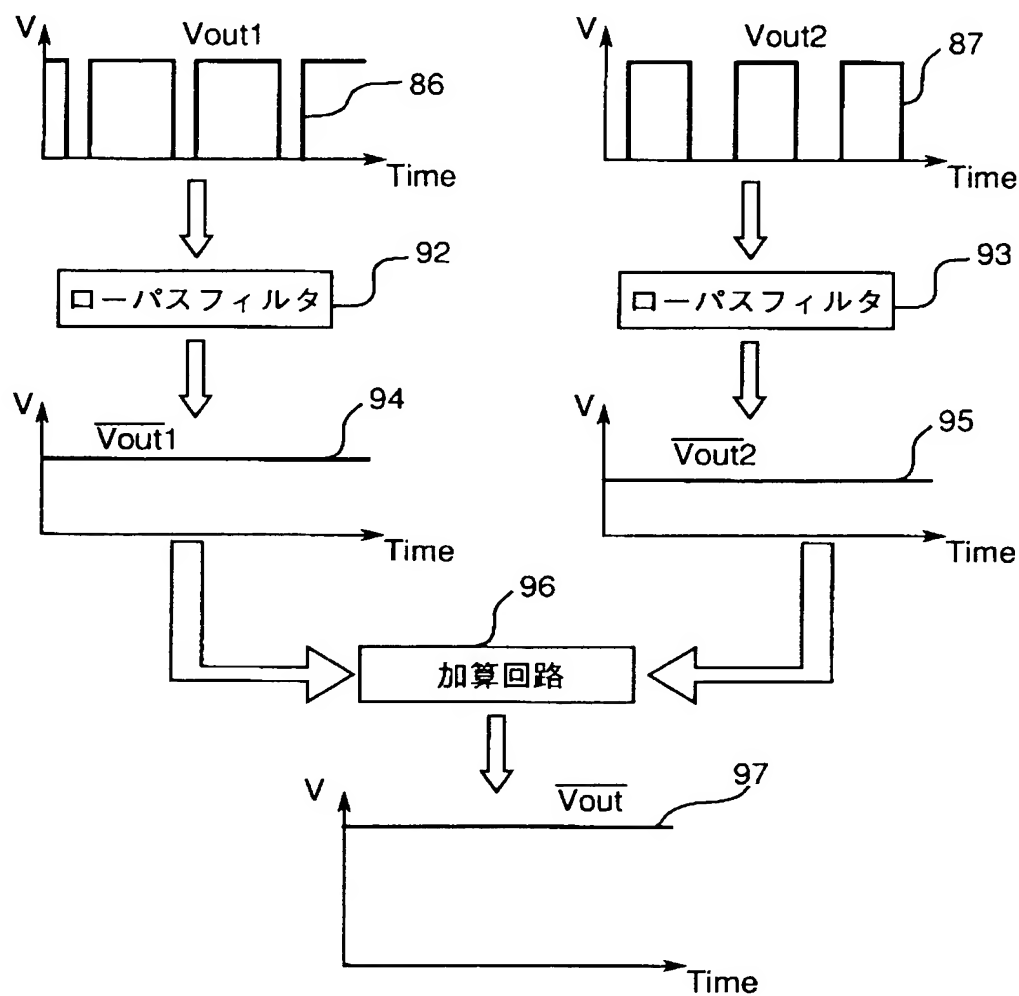
【図 2 7】



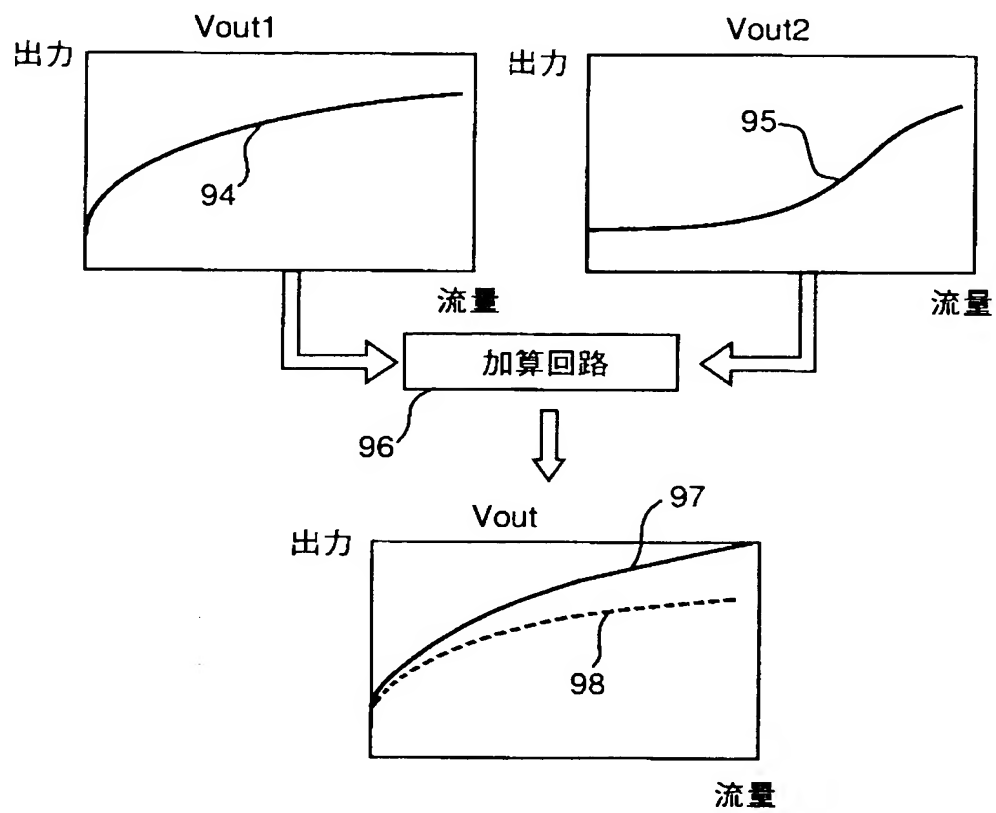
【図 2 8】

Vout1	Vout2	Vh1	Vh2	Vh3	Vh3
High	High	Low	High	Low	Low
High	Low	High	Low	Low	Low
Low	Low	Low	Low	High	Low
Low	High	Low	Low	Low	High

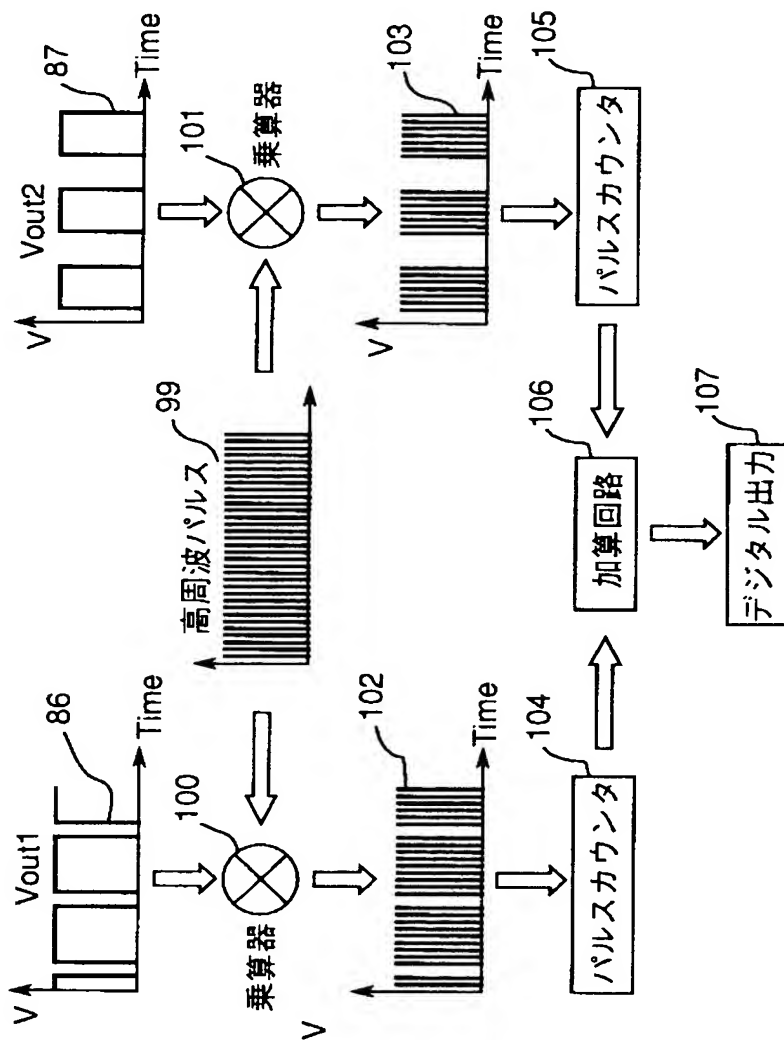
【図 29】



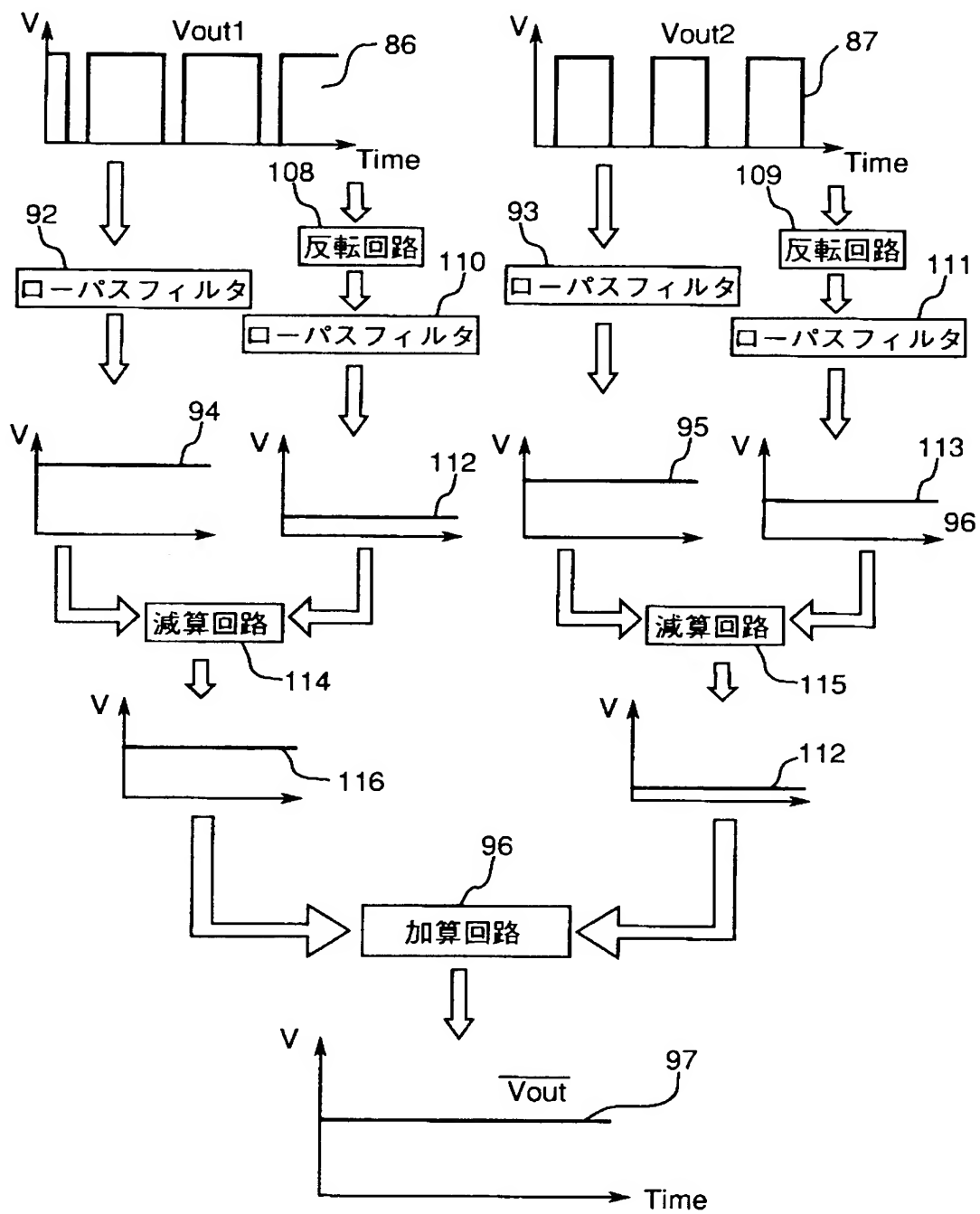
【図 3 0】



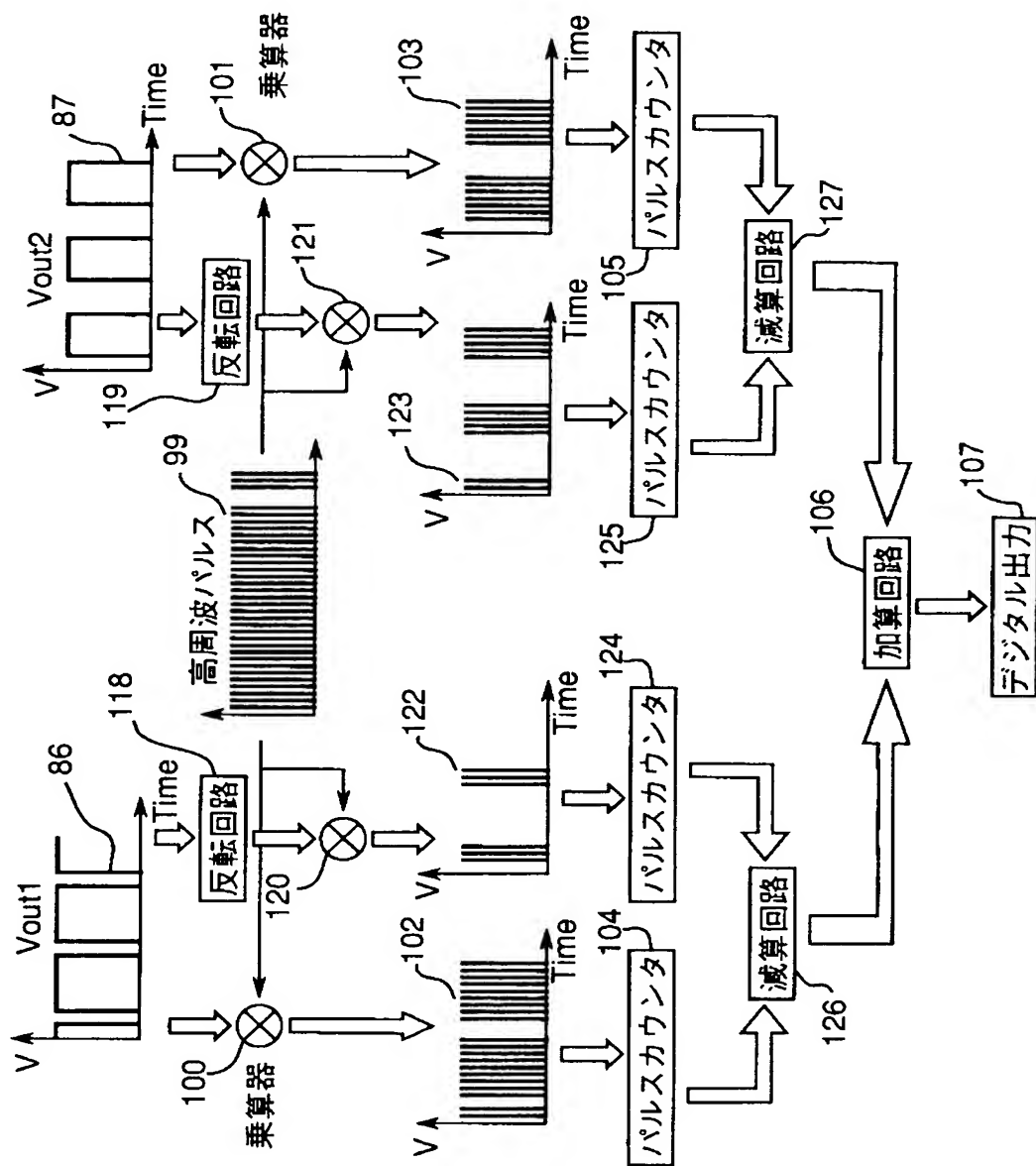
【図 31】



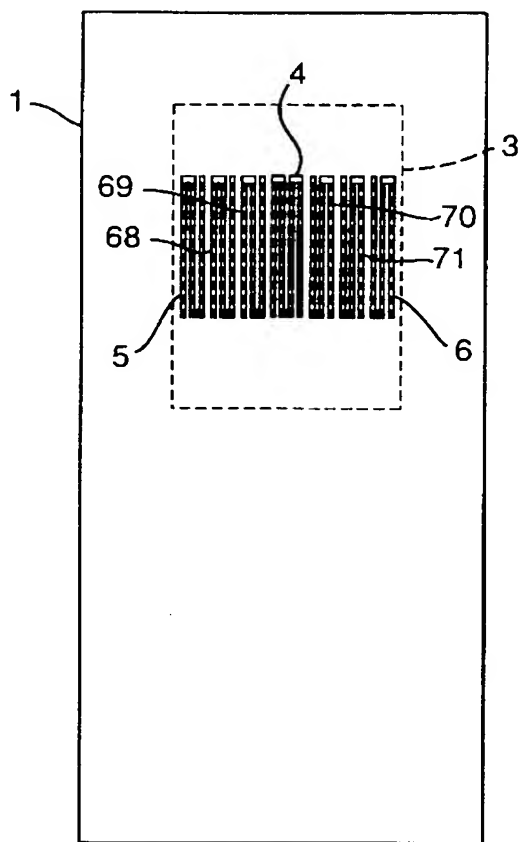
【図 3 2】



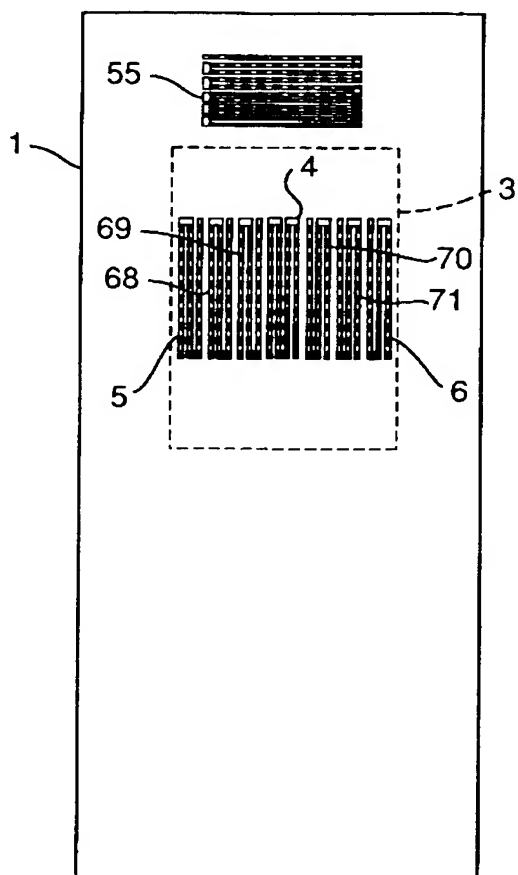
【図 33】



【図 3 4】



【図 3 5】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 感度および応答性が高く、かつ、ダイナミックレンジが広い流体流量測定方式を提供する。

【解決手段】 流体中に配置され、熱を発する発熱体の上流側の放熱量と、下流側の放熱量との差から、流体の流量を測定する流量測定装置において、発熱体の上流側に設けられて温度を検出する上流温度検出体と、発熱体の下流側に設けられて温度を検出する下流温度検出体と、上流温度検出体が検出した温度、および、下流温度検出体が検出した温度の平均温度が、予め設定された温度になるように、発熱体に供給する電力を制御する回路とを備えた、流量測定装置を提供する。

【選択図】 図 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006013]

1. 変更年月日 1990年 8月24日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号

氏 名 三菱電機株式会社